

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DA TECNOLOGIA DE TELHADOS VERDES EM ESCALA
PILOTO E ESTIMATIVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES
PREDIAIS EM BRASÍLIA/DF**

**FLORA LYN DE ALBUQUERQUE FUJIWARA
LUANA SILVA SANTOS**

**ORIENTADORA: LENORA NUNES LUDOLF GOMES
CO-ORIENTADORA: CAROLINA BERNARDES**

PROJETO FINAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL

BRASÍLIA/DF: JULHO/2016

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DA TECNOLOGIA DE TELHADOS VERDES EM ESCALA
PILOTO E ESTIMATIVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES
PREDIAIS EM BRASÍLIA/DF**

**FLORA LYN DE ALBUQUERQUE FUJIWARA
LUANA SILVA SANTOS**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO
GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.**

APROVADA POR:

LENORA NUNES LUDOLF GOMES, Doutora - UnB (ORIENTADOR)

**CONCEIÇÃO DE MARIA ALBUQUERQUE ALVES, PhD – UnB
(EXAMINADOR INTERNO)**

DELVIO SANDRI, Doutor – UnB (EXAMINADOR EXTERNO)

DATA: BRASÍLIA/DF, 01 de Julho de 2016.

FICHA CATALOGRÁFICA

FUJIWARA, FLORA LYN DE ALBUQUERQUE; SANTOS, LUANA SILVA.

Avaliação da tecnologia de telhados verdes em escala piloto e estimativa de retenção de água em edificações prediais em Brasília/DF, Brasília, DF. 2016.

viii, 64 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2016)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Telhados Verdes 2. Drenagem Urbana 3. Ensaio de Retenção Hídrica

I. ENC/FT/UnB II. Título

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FUJIWARA, F. L. A., SANTOS, L. S. S. (2016). Avaliação da tecnologia de telhados verdes em escala piloto e estimativa de retenção de água em edificações prediais em Brasília/DF, Brasília, DF, 64 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DOS AUTORES: Flora Lyn de Albuquerque Fujiwara, Luana Silva Santos

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Avaliação da tecnologia de telhados verdes em escala piloto e estimativa de retenção de água em edificações prediais em Brasília/DF, Brasília, DF. 2016.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2016

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Flora Lyn de Albuquerque Fujiwara
Condomínio Ville de Montagne, quadra
02, casa 25
71 680 - 357 Brasília/DF - Brasil

Luana Silva Santos
SQN 311, Bloco D, Ap. 403.
70 757 - 040 Brasília/DF - Brasil

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVOS.....	3
2.1	OBJETIVO GERAL.....	3
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
3.1	O DESENVOLVIMENTO URBANO E O CRESCIMENTO DE ESPAÇOS VERDES.....	4
3.2	TELHADOS VERDES.....	6
3.2.1	Tipos de Telhados Verdes.....	6
3.2.2	Design construtivo.....	8
3.2.3	Benefícios dos Telhados Verdes.....	11
3.2.4	Dificuldades dos Telhados Verdes.....	14
3.2.5	Exemplos de Aplicação de Telhado Verde no Brasil e no Mundo.....	18
3.2.6	Legislação no Brasil e no Mundo.....	20
3.3	TELHADOS VERDES E A DRENAGEM URBANA.....	25
3.3.1	Ciclo Hidrológico.....	25
4	METODOLOGIA.....	28
4.1	ÁREA DE ESTUDO.....	28
4.2	MONTAGEM DAS UNIDADES PILOTO.....	29
4.3	CALIBRAÇÃO E INSTALAÇÃO DO PLUVIOGRÁFO.....	33
4.4	COLETA DE DADOS.....	34
4.4.1	Análise quantitativa de capacidade de retenção de água nas unidades piloto de telhado verde.....	34
4.4.2	Qualidade da água drenada.....	37
4.5	ESTIMATIVA DE INSTALAÇÃO DE TELHADOS VERDES EM ÁREA RESIDENCIAL URBANA.....	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
5.1	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.....	40
5.2	DESENVOLVIMENTO DA VEGETAÇÃO DAS UNIDADES PILOTO.....	41
5.3	DADOS PLUVIOMÉTRICOS.....	43
5.4	ANÁLISE QUANTITATIVA DE CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA NAS UNIDADES PILOTO DE TELHADO VERDE.....	45
5.4.1	Período chuvoso sem controle da umidade do solo.....	45
5.4.2	Ensaio da capacidade de retenção com medida da umidade do solo e entrada controlada de água.....	47
5.5	ANÁLISE DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	52
5.6	PROJEÇÃO DE INSTALAÇÃO DE TELHADOS VERDES EM ÁREA RESIDENCIAL URBANA.....	55
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	57
7	BIBLIOGRAFIA.....	59

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 3.1 Telhados (a), Paredes (b) e Fachadas Verdes (c)</i>	5
<i>Figura 3.2: Containers para produção de alimentos instalados em telhados</i>	5
<i>Figura 3.3: Composição das camadas de um telhado verde</i>	8
<i>Figura 3.4: Instituto Central de Ciências da UnB (a), terraço do Palácio Capanema no Rio de Janeiro (b) e a prefeitura de São Paulo (c)</i>	18
<i>Figura 3.5: Central Park, Sidney (a),(b) e (c)</i>	19
<i>Figura 3.6: Telhado Verde em Toronto, no Canadá</i>	20
<i>Figura 3.7: Resposta hidrológica da bacia hidrográfica</i>	26
<i>Figura 3.8: Hidrogramas bacia rural e urbana. Vazão (Q) x Tempo (t)</i>	26
<i>Figura 4.1: Localização da Estação Experimental da Biologia – UnB (círculo azul) e detalhamento da área onde o pluviógrafo e as unidades piloto foram instaladas.</i>	28
<i>Figura 4.2: Gráfico das Normais Climatológicas de Precipitação (mm) para Brasília de 1961 a 1990</i>	29
<i>Figura 4.3: (a) Estrutura metálica de suporte das unidades piloto; (b) Caixa para simulação de telhado verde sobre estrutura metálica</i>	30
<i>Figura 4.4: Montagem das estruturas piloto dos telhados verdes. (a) Camada drenante de argila expandida; (b) e (c) Camada filtrante constituída de uma manta de geotêxtil</i>	31
<i>Figura 4.5: (a) Preparação do substrato; (b) Acomodação do substrato acima da camada filtrante</i>	32
<i>Figura 4.6: (a) Mudas de hortaliças utilizadas para o plantio; (b) Plantio de mudas e semente de hortaliças</i>	32
<i>Figura 4.7: Disposição final das unidades piloto</i>	33
<i>Figura 4.8: Condição da vegetação das unidades piloto em dia de ensaio de entrada com volume controlado</i>	37
<i>Figura 4.9: Traçado dos polígonos no software Qgis para cálculo das áreas de cobertura dos prédios residenciais da SQN 402, Brasília-DF</i>	39
<i>Figura 5.1: Crescimento da vegetação das unidades piloto ao longo do experimento</i>	42
<i>Figura 5.2: Registro de precipitações diárias no período entre os dias 05 de março e 01 de junho de 2016 na área das instalações piloto</i>	44
<i>Figura 5.3: Volumes precipitado e registrado nos galões associados as três pilotos ao longo do período chuvoso</i>	45
<i>Figura 5.4: Comportamento do escoamento da água no galão associado a unidade piloto de telhado verde de hortaliça ao longo do ensaio 3 e 5</i>	48
<i>Figura 5.5: Comportamento do escoamento da água no galão associado a unidade piloto de telhado verde de grama ao longo do ensaio 4 e 6</i>	50

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 3.1 - Custos de reforço de laje e componentes individuais de telhados verdes</i>	15
<i>Tabela 3.2 - Diferentes orçamentos de telhados verdes</i>	16
<i>Tabela 3.3: Comparação entre telhados verdes e telhados convencionais</i>	17
<i>Tabela 3.4: Experiências Internacionais de Políticas Públicas de Telhados Verdes</i>	24
<i>Tabela 4.1 – Parâmetros do ensaio de retenção de água nas unidades piloto de telhado verde</i>	35
<i>Tabela 4.2 - Relação de parâmetros físicos, químicos e biológico realizados para análise da qualidade da água amostrada nas três unidades piloto</i>	38
<i>Tabela 5.1: Caracterização do solo utilizado para plantio da vegetação nas unidades piloto antes e depois da correção e valores de referência</i>	40
<i>Tabela 5.2: Média das precipitações acumuladas entre 1971 e 2015 (mm), registradas pela Caesb, e precipitação acumulada (mm) registrada pelo pluviógrafo instalado na área de estudo, nos meses de março, abril e maio.</i>	43
<i>Tabela 5.3: Porcentagem de retenção calculadas durante o período chuvoso nas unidades piloto de telhado verde de grama e hortaliça</i>	46
<i>Tabela 5.4: Tempo experimental referente ao início da drenagem nas unidades piloto de hortaliça e grama, volumes finais drenados e porcentagem de água retida ao final dos ensaios</i>	51
<i>Tabela 5.5: Análise de qualidade da água amostrada nas 3 unidades piloto e dados apresentados para monitoramento da EPA</i>	53
<i>Tabela 5.6: Valores de área de cobertura verde e volume precipitado usados para projeção da instalação de telhados verdes em área urbana e volumes retidos calculados com Equação (4.2)</i>	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

CCJC - Comissão de Constituição e Justiça e de Cidadania

CDU - Comissão de Desenvolvimento Urbano

CMADS - Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

DF – Distrito Federal

EFB – European Federation of Green Roofs Association

EPA – United States *Environmental Protection Agency*

FLL - Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (Landscaping and Landscape Development Research Society e.V.)

IDF – Intensidade, Duração e Frequência

IGRA- International Green Roof Association

L – Litros

LSA – Laboratório de Saneamento Ambiental

m – Metros

m² – Metros quadrados

mm - Milímetro

mg - Miligrama

SQN – Super Quadra Norte

TT – Telhado com telha de fibrocimento (TT)

TG – Telhado com cobertura verde de gramínea

TH - Telhado com cobertura de hortaliças

UnB – Universidade de Brasília

RESUMO

O intenso crescimento urbano observado nos últimos anos, aumentou o uso de estruturas que causam significativa alteração do uso e cobertura do solo e da topografia. Sendo assim, aumentar o aproveitamento de uma mesma área para múltiplos usos, pode ser uma alternativa para mudar o cenário urbano clássico. O uso de telhados verde surge, então, como uma alternativa em relação às coberturas convencionais, proporcionando um aumento de evapotranspiração e retenção, e consequentemente um maior controle de enchentes em áreas urbanas. Nesse sentido, o presente trabalho avaliou em termos qualitativos e quantitativos, a água drenada de telhados verdes, bem como estimou o volume água retido por essas estruturas em um ambiente urbano em Brasília, DF. Para atingir os objetivos propostos, construiu-se três unidades pilotos (telhado verde de grama, hortaliças e telhado convencional), instaladas na Estação Experimental da Biologia – UnB, monitoradas durante os meses de fevereiro a junho de 2016. Analisou-se a capacidade de retenção de água nas unidades piloto durante eventos naturais de chuva, e posteriormente, em caráter exploratório, avaliou-se a capacidade de retenção das unidades de telhado verde, com coleta de dados de umidade inicial do solo e volumes de entrada e saída de água controlados. Os dados obtidos com os ensaios de capacidade de retenção, foram utilizados para uma projeção dos volumes retidos em eventos de chuva de 189 mm/h com duração de 5 minutos caso a tecnologia fosse instalada nas coberturas de prédios residenciais da SQN 402, em Brasília. Durante o período chuvoso observou-se retenções de água de 91,64% a 100% na unidade piloto de telhado verde de hortaliças e de 44,17% a 100% na unidade de grama. Os ensaios de capacidade de retenção com medição de umidade indicaram para o telhado com grama, retenções de 31,2% e 29,3%; e para o telhado com hortaliça, 25% e 37,8%, nas duas simulações feitas em cada piloto. Os ensaios mostraram que a capacidade de retenção é maior quando a umidade do solo é menor, além disso, as unidades de telhado verde são capazes de retardar o início do escoamento. Houve elevada concentração de fósforo (entre 0,12 e 0,225 mg/L nos telhados verdes e 0,135 mg/L no telhado convencional) e nitrato (entre 5,5 a 30 mg/L nos telhados verdes e 0,1 mg/L no telhado convencional). A projeção do volume retido com a instalação das estruturas na SQN 402, indicou uma retenção de 4,62 L por área de telhado verde instalado (m^2). Cabe destacar que no Brasil estudos sobre telhados verdes são escassos, ressaltando a importância do desenvolvimento de pesquisas sobre o tema.

1 INTRODUÇÃO

Os últimos 60 anos foram caracterizados por um crescimento urbano notável no mundo. Enquanto em 1950, 30% da população mundial vivia em centros urbanos, em 2014 a Organização das Nações Unidas registrou no documento *World Urbanization Prospects* (UN, 2014) uma porcentagem de 54%, com uma prospecção de 66% para o ano de 2050. Esse fenômeno global também é observado no Brasil, onde o grau de urbanização aumentou de aproximadamente 81% em 2000 para 84% em 2010 (IBGE, 2010).

O crescimento dos centros urbanos está atrelado a obras de infraestrutura (ruas, passeios, estacionamentos e telhados) e aumento de edificações, com consequente alteração significativa da cobertura do solo e topografia (Tassi *et al.*, 2013). Essas alterações geram modificações entre a relação humana com o ecossistema, sendo assim, as cidades possuem o desafio de se tornar autossustentáveis, não se limitando apenas aos seus aspectos econômicos e sociais, mas também com o equilíbrio do ambiente ao seu redor (Deelstra e Girardet, 2015). Dessa maneira, a potencialização dos recursos naturais e a valoração de espaços verdes têm ganhado notoriedade no âmbito do planejamento urbano.

A agricultura urbana, por exemplo, pode desempenhar um papel fundamental no estabelecimento de áreas verdes nas cidades, promovendo não apenas uma alteração estética do cenário, como trazendo contribuições para o desenvolvimento econômico, criação de empregos, segurança alimentar e construção de espaços de convívio social (Whittinghill, 2012).

Apesar do bem-estar provido por áreas verdes, muitas vezes essas ganham papel secundário nos concorridos espaços urbanos. Dessa maneira, aumentar o aproveitamento de uma mesma área para múltiplos usos, pode ser uma alternativa para mudar o cenário urbano clássico. O uso de áreas tradicionalmente inertes, como telhados de edificações, pode dar espaço a implantação de vegetação em suas superfícies, promovendo iniciativas de agricultura urbana e aproveitamento de recursos naturais como a água da chuva, sem comprometer novas áreas de expansão urbana.

O uso de telhados verde ou jardins suspensos surge então como alternativa de grande vantagem em relação às coberturas convencionais, e desde os anos 70 organizações

privadas e entidades públicas começaram desenvolver estudos envolvendo o telhado verde e suas aplicações, identificando-o como importante ferramenta para desenvolvimento sustentável de áreas urbanas. No entanto, apesar da sua utilização ter chegado cada vez mais ao conhecimento da sociedade, sua prática ainda é pouco difundida. Pouco se sabe da eficiência dos telhados verdes no controle de escoamento pluvial. Desta forma, faz-se necessário um estudo da aplicabilidade e dos efeitos do uso no controle do escoamento superficial urbano (Cabraia Filho *et al.*, 2015).

No âmbito da popularização dos telhados verdes no Brasil, pode-se destacar a falta de incentivos econômicos para sua implantação e manutenção como um dos fatores mais relevantes para a falta de interesse e baixa aplicabilidade do sistema. A aceitação e expansão dessa tecnologia ainda encontra algumas dificuldades nos aspectos técnicos e construtivos, tais como aumento de carga estrutural, necessidade de fertilização e sistemas de irrigação do solo, especificações quanto a declividade e impermeabilização da cobertura e custos associados.

Cabe ressaltar que há pouca informação a respeito da tecnologia, suas funcionalidades e seus benefícios. Dessa forma, faz-se necessário a realização de mais estudos sobre os telhados verdes, buscando aferir seus benefícios para os centros urbanos a curto e longo prazo, representando assim um investimento para a sociedade.

Nesse sentido, o presente trabalho busca observar a aplicação dos telhados verdes com enfoque na água drenada dessas estruturas. Dessa forma, a partir da construção, manutenção e monitoramento de unidades pilotos de telhado verde, objetiva-se avaliar em termos quantitativo e qualitativo a água drenada dessas estruturas, com uma posterior estimativa da sua utilização em edificações em Brasília, DF.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a tecnologia de telhados verdes em escala piloto sobre a perspectiva da água drenada, em termos qualitativos e quantitativos, bem como estimar a interferência de sua instalação em edificações em Brasília/DF.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a capacidade de retenção de volumes de água precipitados em telhados verdes com cobertura de gramínea e hortaliças;
- Analisar a interferência da umidade do solo e tipo de vegetação na capacidade de retenção de água dos telhados verdes em escala piloto;
- Aplicar os dados obtidos em escala piloto para estimar a capacidade de retenção de água por telhados verdes instalados em área urbana residencial.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 O DESENVOLVIMENTO URBANO E O CRESCIMENTO DE ESPAÇOS VERDES

Os grandes centros urbanos vêm passando por uma mudança expressiva de paradigmas nos últimos anos. Com a Revolução Industrial e o crescimento desordenado das cidades em um período relativamente curto de tempo, foi oferecido aos seus habitantes péssimas condições de vida, com diversos problemas sociais, habitacionais, sanitários e de deslocamento. Uma cidade passou, então, a ser definida pela sua falta de natureza - falta de espaços verdes abertos, falta de ar limpo, falta de luz - falta de todos os aspectos que a sociedade acreditava ser necessário para sua saúde e felicidade (Brantz e Dümpelmann, 2011).

Buscando reverter essa situação e trazer de volta os desejáveis aspectos naturais para a sociedade, iniciou-se o movimento de planejamento moderno das cidades. Reconectar a cidade à natureza traz diversos benefícios como mais luz solar e ar puro, melhor proteção de variações climáticas extremas, melhora das condições sanitárias e da saúde pública. Ainda, a relação cidade e natureza, proporciona uma oportunidade de educação moral de massas urbanas, buscando melhorar e aperfeiçoar seus valores (Brantz e Dümpelmann, 2011).

Muitas cidades ao redor do mundo vêm reconhecendo a importância de se ter espaços verdes e “infraestruturas verdes” em seus ambientes, valorando, assim, as paisagens naturais, incluindo espaços verdes e sistemas naturais de água. A chamada “Infraestrutura verde” inclui árvores pela cidade, parques, jardins de chuva, telhados, paredes e fachadas verdes em diferentes edifícios.

Os telhados, paredes e as fachadas verdes surgem como uma forma de “esverdear” os grandes centros urbanos, e podem ser facilmente incluídos em edifícios novos, ou adaptados para edifícios existentes, e requerem pouco espaço ao nível do solo. Essa tecnologia está sendo usada para compensar a perda de vegetação urbana, para fornecer significativa refrigeração nos locais, e ainda provocar melhorias estéticas em centros urbanos densamente povoados (State Government of Victoria, 2014).

Pode-se definir telhados verdes como uma vegetação implantada na superfície do telhado de edificações. As fachadas verdes são cultivos de plantas nas faces/laterais do edifício, que podem ser plantadas no solo e então subir pela parede, ou ser instalada na fachada em si. Já as paredes verdes, são plantas cultivadas em sistemas verticais instalados no edifício, estes podem ser independentes, geralmente ligados às paredes internas ou externas (State Government of Victoria, 2014). Os três diferentes sistemas estão apresentados na Figura 3.1.

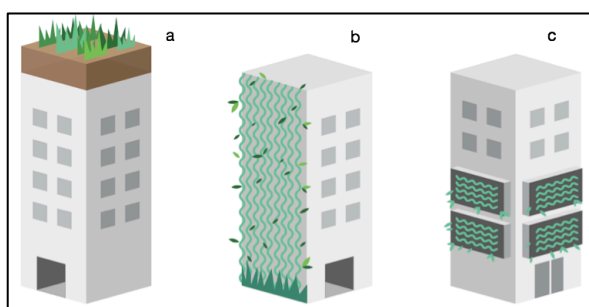


Figura 3.1 Telhados (a), Paredes (b) e Fachadas Verdes (c) (State Government of Victoria, 2014).

Considerando que os telhados, paredes e as fachadas verdes fornecem espaço para o desenvolvimento de áreas verdes na cidade, observa-se que também representam uma possibilidade alocação da agricultura urbana.

Em algumas regiões do mundo, telhados estão sendo transformados em áreas urbanas de produção de alimentos. Mais comumente, os telhados são usados para abrigar cultivos hidropônicos ou contêineres com produção de alimentos como apresentado na Figura 3.2. Além de telhados, as fachadas estão sendo usadas para a produção de culturas que sobem pelas paredes, como feijão ou maracujá (State Government of Victoria, 2014).



Figura 3.2: *Containers* para produção de alimentos instalados em telhados (State Government of Victoria, 2014)

A agricultura urbana em telhados e paredes pode fazer parte dos jardins comunitários, residências privadas, fazendas escolares, grupos sociais ou até fazendas de produtos comercializáveis. A escala do projeto e nível de produção vai determinar a estrutura necessária para cada um desses sistemas (State Government of Victoria, 2014).

3.2 TELHADOS VERDES

Os telhados verdes são sistemas constituídos por distintas camadas, instalados na superfície das edificações. Os telhados verdes são adotados por diferentes motivos: podem ser espaços utilizados pela população para contemplação, diversão e lazer, trazendo assim uma melhora de saúde, além de melhorar o convívio social; podem agregar valor às edificações, visto que representam uma diminuição energética por trazerem um conforto térmico à residência; e ainda, fomentam diversos benefícios para o meio ambiente como um todo, quanto a retenção e captura de água da chuva, e consequentemente redução dos picos de cheia, aumento da diversidade de espécies, e contribuição para a redução das ilhas de calor nos centros urbanos (State Government of Victoria, 2014).

Apesar dos benefícios dos telhados verdes, amplamente divulgados, deve-se destacar que ainda há certas dificuldades na sua implantação. Como ressaltado por Tassinari *et al.* (2013), para visualizar os benefícios dos telhados verdes, deve-se considerar fatores como a estética, condições ambientais (incluindo macro e microclima), composição e profundidade do substrato, seleção das plantas, métodos de instalação e manutenção.

3.2.1 Tipos de Telhados Verdes

Dependendo do objetivo da implantação do telhado verde, e da vegetação que será utilizada, os telhados verdes podem ter diferentes configurações, a variar principalmente quanto à profundidade do substrato e a carga que a estrutura pode suportar. Sendo assim, estes sistemas podem ser categorizados em dois tipos básicos: extensivos, intensivos e semiextensivo.

3.2.1.1 Extensivos

Os telhados verdes do tipo extensivo são caracterizados por possuir baixa profundidade de substrato, e plantas de pequeno porte que exigem pouca manutenção devido ao seu lento e baixo crescimento. Estes sistemas podem ser construídos em praticamente todos os tipos

de coberturas como telhas cerâmicas, de fibrocimento, coberturas de aço e lajes. (Jobim, 2013).

Os sistemas extensivos são projetados basicamente para comportar plantas resistentes a situações climáticas severas, como seca, geada e ventos fortes. Apresentam pouca profundidade de solo entre 0,6 e 0,20 m, com peso variando entre 60 e 150 kg.m⁻², adicionando assim pouco peso à estrutura que o suporta. Normalmente, a água é armazenada no substrato, e a drenagem, ou camada de retenção, é suficiente para sustentar a necessidade hídrica das plantas; no entanto, um sistema de irrigação pode ser empregado dependendo da vegetação, durante períodos prolongados de estiagem (Tassi *et al.*, 2013; IGRA, 2015).

Considerando que os sistemas extensivos são mais leves, estes são mais adequados para grandes áreas e telhados com declividade de até 20°, acima disso é necessário a utilização de barreiras ou outras estruturas que deem suporte para que o substrato e a vegetação não deslizem ou excedam. Ainda, apesar de ser relativamente mais barato do que os sistemas intensivos, cabe destacar que caminhar sobre a vegetação não é aconselhável por ser um sistema superficial e frágil. Sendo assim, esse tipo de telhado verde não pode ser utilizado para fins recreativos e de lazer (Jobim, 2013; Kosareo e Ries, 2007).

3.2.1.2 Intensivos

Os sistemas intensivos são caracterizados por possuir uma espessura maior e mais significativa de substrato, de 0,15 a 1 m, o que permite a utilização de plantas de maior porte como arbustos e até mesmo árvores. Os telhados verdes intensivos exigem uma maior manutenção e irrigação regular, devido ao porte de sua vegetação, e assim também exigem uma estrutura de suporte mais reforçada, já que a sobrecarga pode variar de 180 e 500 kg.m⁻² (Köhler, 2006; Jobim, 2013; IGRA, 2015).

Cabe destacar que os sistemas intensivos possuem um custo mais elevado devido a necessidade de maiores cuidados, manutenção e irrigação, além de maior atenção no processo de implantação, em especial dos sistemas de drenagem e de impermeabilização. Devido à altura e diversidade da vegetação, este tipo de cobertura é mais viável em edificações com coberturas planas (Jobim, 2013).

3.2.1.3 Semiextensivos

Há ainda outra subdivisão que classifica os telhados verdes em semiextensivos. Estes são caracterizados por altura de substrato variando entre 0,12 e 0,25 m, com peso de 120 a 200 kg.m⁻² podendo abrigar uma maior diversidade de plantas do que os sistemas extensivos, como alguns tipos de arbustos, plantas lenhosas e ervas, demandando manutenções periódicas, além de possibilitar área de lazer (Jobim, 2013; IGRA, 2015).

3.2.2 Design construtivo

Os telhados verdes são construídos por meio de diversas camadas sobrepostas, que podem variar conforme a função desejada para o sistema, o tipo de vegetação pretendida, a capacidade estrutural, inclinação e localização do telhado, e os custos de tal implantação. A composição comumente utilizada consiste em sete camadas: (Figura 3.3) estrutura de suporte da edificação; camada impermeabilizante; camadas protetoras, (tapete de proteção e/ou camada anti-raiz, que são opcionais); camada drenante; camada filtrante; substrato; e vegetação (State Government of Victoria, 2014).

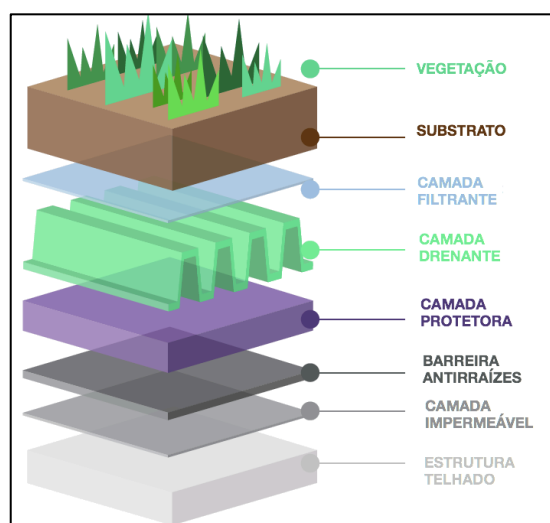


Figura 3.3: Composição das camadas de um telhado verde

Estrutura de suporte do telhado

Consiste na base estrutural em que será instalado o telhado verde. Eles podem ser instalados em diferentes materiais, no entanto, é mais comum a instalação em plataformas de concreto devido a sua integridade estrutural, durabilidade e facilidade de projeto. Deve-se destacar que o edifício ou casa deve apresentar capacidade de suportar a carga e/ou

reforço estrutural para a implantação do sistema. Dependendo do telhado pré-existente no local, talvez seja mais econômico trocar toda sua estrutura para uma mais apropriada para um telhado verde.

Camada de impermeabilização

Possui a função de evitar que a água penetre na edificação. Essa impermeabilização, que pode ser líquida ou em membranas pré-formadas, deve fornecer uma camada forte, mas flexível que permita a expansão sob movimentos físicos ou térmicos da estrutura da edificação. Os tratamentos líquidos são indicados em locais em que a aplicação de membranas é difícil. Destaca-se que as membranas devem ser protegidas de danos físicos e químicos, como cortes, rasgos, ação de raízes e rizomas invasores, e exposição ao intemperismo.

Camadas Protetoras

Barreira anti-raízes: Essas barreiras são utilizadas nos telhados verdes para proporcionar proteção à camada impermeabilizante de danos causados por raízes de árvores e arbustos. O tipo mais comum é o que utiliza folhas de polietileno, colocadas sobre a membrana de impermeabilização. Deve-se observar que a barreira deve ser resistente ao material da camada impermeabilizante e também às substâncias resultantes da decomposição das plantas.

Membrana protetora: São placas de proteção utilizadas para proteger a membrana impermeabilizante de danos após a instalação. Podem ser instaladas acima da camada impermeabilizante, ou acima da membrana anti-raízes, produzindo assim uma maior proteção contra a penetração das raízes.

Camada Drenante

Esta camada tem como função assegurar que grande quantidade de água não fique retida no telhado, comprometendo assim a integridade estrutural da edificação e a sobrevivência das plantas, que através de alagamentos podem ter pouco oxigênio em seus substratos. O sub-escoamento superficial deve drenar de forma eficiente a água do substrato, para a camada de drenagem e a seguir para a superfície do telhado, e então para o sistema de águas pluviais.

Em métodos tradicionais, esta camada pode ser constituída de argila expandida, brita ou seixos de diâmetros semelhantes, este material é bastante eficiente quanto ao controle do fluxo de cheia. No entanto esta forma de drenagem é pesada e pode não permitir que o ar alcance todas as raízes.

Nos telhados verdes mais modernos, camadas leves de membranas ou placas de plástico estão sendo utilizadas. Essas estruturas plásticas podem ser rígidas, mas permitem a drenagem de água sem restrições, ou podem ter um design similar a uma caixa de ovos, que permite que a água seja armazenada abaixo da estrutura.

Camada filtrante

Evita que haja um arraste das partículas de solo da camada superior por meio das chuvas, para as camadas inferiores, acabando por obstruir o sistema de drenagem do telhado. Normalmente utiliza-se uma manta geotêxtil.

Substrato

O substrato é a camada onde é armazenado a água e os nutrientes para a vegetação, assegurando a troca de gases nas raízes e ainda suporte físico para a planta. Geralmente é composto de uma mistura de compostos inorgânicos (minerais) e orgânicos. Destaca-se que a matéria orgânica é normalmente mantida a uma proporção baixa (geralmente 20% ou menos) já que possui uma vida útil curta, se degradando rapidamente ao longo do tempo, além disso, pode se tornar repelente à água após ressecar.

Pode-se destacar que um substrato deve ter uma carga de peso saturado conhecido, que faz parte da capacidade de carga estrutural do telhado; deve drenar livremente, reduzindo alagamentos e evitando inundações durante chuvas intensas, porém, também tem que reter água suficiente para a vegetação; ao longo do tempo, ele deve ser estável, com uma boa proporção de componentes minerais e uma menor proporção de componentes orgânicos.

Vegetação

Uma grande diversidade de plantas pode ser usada nos telhados verdes, para a sua escolha é necessário primeiramente levar em consideração o objetivo principal do telhado verde, o tipo de substrato que será utilizado, e também as condições climáticas locais. Deve-se

ressaltar que é melhor realizar o plantio no outono e inverno, para a planta já estar estabelecida antes do verão. Nesse período de amadurecimento, a irrigação é essencial. Além disso, pode-se destacar que além das condições ambientais locais, a formação de microclimas deve ser considerada, a exemplo daqueles criados devido ao sombreamento, inclinação, e orientação do telhado, que podem influenciar o tempo de exposição ao sol, modificando a umidade do substrato (Tassinari *et al.*, 2013).

Conforme exposto por Tassinari *et al.* (2013), a fisionomia vegetal das espécies utilizadas no telhado verde, são ainda responsáveis pelo processo de interceptação e evapotranspiração, promovem o sombreamento do substrato podendo diminuir a evaporação da água no solo e melhorar as condições de persistência das plantas sobre o telhado.

3.2.3 Benefícios dos Telhados Verdes

De acordo com a IGRA (2015), os telhados verdes podem trazer benefícios no âmbito público e privado como apresentado a seguir.

3.2.3.1 Privado

Primeiramente no aspecto de benefícios individuais, pode-se destacar o fato de que a implantação dos telhados verdes aumenta a vida útil dos telhados convencionais. De acordo com Thompson e Sorvig (2008), os telhados verdes protegem os telhados convencionais da radiação ultravioleta (UV) e de temperaturas extremas, as duas principais fontes de degradação dos telhados comuns. Materiais de cobertura derivados do petróleo são vulneráveis à degradação pela radiação ultravioleta, então o telhado verde formaria um verdadeiro escudo impermeabilizante à radiação, muitas vezes, duplicando sua vida útil.

Outro benefício é a redução dos níveis de barulho no interior das edificações. O telhado verde pode atuar como um isolante acústico, o que pode ser bastante útil para pessoas que residem próximo à aeroportos, casas de show e setores industriais. De acordo com Van Renterghem e Botteldooren (2011), os sons podem ser reduzidos basicamente de duas maneiras, por meio do aumento do isolamento do sistema do telhado, ou através da absorção de ondas sonoras de difração sobre o telhado. Em seu estudo, encontrou-se melhorias acústicas superiores a 10db, ao longo de uma ampla faixa de frequência. Ainda, destaca-se que uma pequena espessura de substrato e/ou a presença de vegetação são

efetivas para conter frequências mais elevadas, enquanto que para ruídos de baixa frequência é necessário uma maior espessura de substrato.

Além do aspecto acústico, os telhados verdes também atuam como isolantes térmicos. Diminuindo assim as variações térmicas que as edificações sofrem, e consequentemente produzindo uma economia energética com aquecedores ou ar-condicionados durante os meses de calor ou frio intenso. De acordo com Baldessar (2012), o isolamento por um telhado verde pode cortar pela metade os custos de resfriamento do ambiente no verão; e do aquecimento em 25%, no inverno.

Outra contribuição significativa dos telhados verdes recai sobre os diferentes usos que a área pode ter. Pode-se destacar o benefício para os indivíduos que desfrutam de uma melhor qualidade cênica, ar fresco e privacidade. Sendo assim, os telhados verdes apresentam-se como uma ótima oportunidade de lazer mesmo em conglomerados urbanos, podendo também ser um fator de melhora em ambientes de trabalho. De acordo com Tzoulas *et al.* (2007), os telhados verdes podem proporcionar ambientes saudáveis e benefícios físicos e psicológicos para quem usufrui desses locais.

3.2.3.2 Público

No aspecto dos benefícios públicos advindos dos telhados verdes, pode-se destacar primeiramente o fato de que eles funcionam como compensadores de áreas verdes degradadas pelo homem. Os centros urbanos consistem basicamente em grandes áreas desflorestadas e de grande perda de espécies de flora e fauna. Com o advento dos telhados verdes há um aumento da biodiversidade de espécies que encontram comida e habitat nessas áreas. Pode-se destacar que o ciclo natural de crescimento da planta nos telhados verdes, sua auto-semeadura e a seleção natural dessas espécies, fornece ao sistema um caráter exclusivo. De acordo com Brenneisen (2006), os telhados verdes representam uma potencial ferramenta para a preservação e recuperação da biodiversidade em áreas urbanas, e essa perspectiva de planejamento ecológico local pode ser cada vez mais abordada na concepção dos telhados.

Um dos principais benefícios dos telhados verdes consiste no aumento de permeabilidade, e consequentemente a prevenção de enchentes. Dependendo do sistema adotado, o escoamento superficial pode ser reduzido de 50 a 90% por meio da retenção física de água

da chuva, transpiração e evaporação da vegetação do telhado (Baldessar, 2012). Ainda, o excesso de água da chuva que percorre as camadas do telhado verde é filtrada e em seguida drenada, o que representa um atraso e/ou distribuição do pico de cheia. Sendo assim, o sistema de drenagem urbana não é sobrecarregado e sistemas menores podem ser instalados. Uhle e Schiedt (2008) estudaram por dois anos 18 telhados verdes com configurações diferentes, e concluíram que todos os telhados apresentaram redução substancial da vazão de pico. Além da profundidade do substrato, do número de camadas e da inclinação do telhado, a evapotranspiração e o intervalo entre períodos secos e chuvosos também influenciam no volume a ser escoado. Deve-se destacar que combinado com outros métodos de drenagem de retenção e detenção, a água da chuva pode ser inteiramente infiltrada na própria área da edificação (IGRA, 2015).

Nos grandes centros urbanos, em que há uma grande quantidade de superfícies impermeáveis, excesso de calor emanando de edifícios, indústrias, e tráfego de veículos, o efeito de ilhas de calor é cada vez mais intenso. Com a implantação dos telhados verdes, esse efeito, que é prejudicial à qualidade de vida dos habitantes na cidade, pode se drasticamente minimizado (IGRA, 2015).

De acordo com estudo de Eumorfopoulou (1998), 60% da radiação recebida pelo telhado verde é absorvida pela vegetação, 27% é refletida de volta, e apenas 13% é repassada ao edifício. Ainda, estudos conduzidos em Berlin por Köhler (2002), revelaram que a instalação dos telhados verdes provoca não só a redução da temperatura máxima superficial do local, mas também a redução pela metade da amplitude térmica.

Outro aspecto de grande relevância para a sociedade é a redução da poluição do ar com a implantação do telhado verde. Deve-se destacar que esses gases poluentes, em especial os óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono, compostos orgânicos voláteis e gases de escapamentos de diesel, estão gerando perigosas combinações de substâncias tóxicas para a comunidade. Sendo assim, o telhado verde pode ser uma boa alternativa para melhorar a qualidade do ar. Em Toronto, no Canadá, Currie e Bass (2008), estudaram os efeitos de telhados verdes sobre a poluição do ar, e concluíram que árvores tem uma maior eficácia na remoção de poluentes. No entanto, arbustos e grama também foram de grande contribuição para a qualidade do ar, no caso de poluentes de até 10 micrômetros de tamanho, a remoção foi quase equivalente a ação das árvores.

No âmbito urbanístico e paisagístico, os telhados verdes trazem um incremento agradável para a cidade, melhorando a qualidade de vida nesses ambientes. O crescimento dos telhados verdes traz uma aproximação da população com a natureza. Ainda, pode-se destacar uma melhora na qualidade visual do perfil da cidade (Rahman *et al.*, 2015).

3.2.4 Dificuldades dos Telhados Verdes

Apesar dos diferentes benefícios advindos dos telhados verdes, deve-se ressaltar a necessidade de grande cautela em sua instalação e manutenção, se comparado a um telhado convencional.

Primeiramente, os telhados verdes apresentam uma carga estrutural maior do que as lajes convencionais, devido ao peso de suas camadas, em especial do substrato e da vegetação a ser utilizada. Sendo assim, enquanto lajes convencionais são projetadas para suportar cargas de até 150 kg.m^{-2} , telhados verdes podem exigir estruturas capazes de suportar até 170 kg.m^{-2} para sistemas extensivos e 290 kg.m^{-2} a 970 kg.m^{-2} para sistemas intensivos (Heneine, 2008).

Outro aspecto que merece destaque consiste na necessidade da implantação de um sistema de irrigação contínuo, e ainda fertilização do solo, a depender do tipo de vegetação e a funcionalidade adotada para o telhado verde. O que vem a demandar uma maior despesa de recursos e mão de obra (Pereira, 2015).

No âmbito da declividade do telhado, os telhados verdes devem atender ao menos 2% para obtenção de uma drenagem eficiente, o que pode representar um entrave para os telhados planos. Além disso, um fator que merece destaque e bastante atenção na construção de um telhado verde consiste na impermeabilização, visto que se houver alguma infiltração de água pode resultar em diversos danos para a edificação (Wilkinson *et al.*, 2014).

No âmbito da produção de alimentos nos telhados verdes, há alguns itens que devem ser considerados no seu planejamento, tais como: acesso à área de produção e possível aumento de carga estrutural devido ao aumento de tráfego de pessoas e/ou maquinários; assegurar a qualidade dos alimentos quanto à poluição do ar do ambiente urbano; e ainda monitorar a qualidade da água de saída do sistema quanto a possibilidade de lixiviação dos nutrientes do substrato (Pereira, 2015).

Além das exigências estruturais, construtivas e de manutenção dos telhados verdes, os custos financeiros também demandam atenção. De acordo com o guia do *State Government of Victoria* (2014), os custos associados à construção podem variar significativamente a depender do tipo de estrutura (caso seja necessário reforço), local de implantação (tamanho e dificuldade de acesso), estocagem de materiais durante a construção e complexidade do projeto. Além da implantação, são ainda fontes de dispêndios: irrigação, replantio de culturas, e inspeção do sistema de irrigação e canais drenantes.

A Tabela 3.1 mostra alguns valores de custo a cerca do aumento de capacidade estrutural e de componentes do telhado verde.

Tabela 3.1 - Custos de reforço de laje e componentes individuais de telhados verdes (State Government of Victoria, 2014).

Componentes do telhado		Custo em dólar australiano (AUD \$)
Capacidade Estrutural	Reforço de lajes de concreto sob áreas trafegáveis	450 – 650,00 m ⁻²
	Reforço de telhados de ferro	240,00 m ⁻²
	Adição de colunas suporte e fundações	2500 – 7500,00 cada
Componente individuais	Impermeabilização	100,00 m ⁻²
	Drenagem e camadas de proteção	20 – 30,00 m ⁻²
	Substrato, plantas e irrigação	100 – 500,00 m ⁻²
	Tanque (100.000L), bomba e equipamentos associados	25.000,00

Pereira (2015), desenvolveu uma análise financeira para instalação de telhado verde em ambientes já construídos, em Presidente Prudente, São Paulo. O estudo levantou o orçamento de três empresas não identificadas, que oferecem materiais, mão de obra e ou material explicativo para sua construção. Os resultados são apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Diferentes orçamentos de telhados verdes (Pereira, 2015).

Empresa	Serviço	Preço (R\$)
A	Material e mão-de-obra, não incluso impermeabilização e equipamentos para transporte vertical e horizontal	207,50/ m ²
B	Material e mão-de-obra, não inclui equipe técnica, transporte horizontal, impermeabilização da laje e materiais de contenção do substrato	170,00/m ²
C	Guia passo-a-passo com informações necessárias para que o cliente monte seu telhado e suporte online e por telefone.	500,00 (acima de 100 m ²)

De acordo Bezerra e Curi (2009) os custos dos telhados verdes variam de 1/3 a 1/2 do custo da estrutura sem a vegetação. O custo de implantação do telhado verde varia de R\$ 65,00 a R\$ 110,00 m⁻², incluindo a mão de obra e material, enquanto um telhado convencional de telha de barro ou de fibrocimento custa R\$ 30,00 a R\$ 100,00 m⁻², incluindo a estrutura e mão de obra.

Pode-se destacar que a implantação de telhados verdes em novas construções é, em geral, mais barato do que em edificações já construídas, devido à facilidade de se integrar um aumento de carga estrutural em um novo projeto, quando comparado a uma laje pré-existente. Como alternativa aos problemas de capacidade estrutural, a construção de “telhado flutuante” – uma estrutura adicional para suporte do telhado verde - pode ser uma alternativa de barateamento de custos (State Government of Victoria, 2014).

Em relação à redução de custos, algumas soluções vêm sendo implantadas, porém sem uma garantia de vida útil longa. A substituição de geotêxteis impermeabilizantes por lonas, drenos por mangueiras perfuradas e sistemas de irrigação por mangueiras perfuradas, são algumas soluções de baixo custo para atender demandas construtivas dos telhados verdes. O guia de *State Government of Victoria*, (2014) cita até o termo *do it yourself* (DIY) – “faça você mesmo”, como uma alternativa para a redução de custos em pequenos projetos.

Apesar dos telhados verdes apresentarem maior custo na fase de instalação, se comparados com os telhados convencionais, o uso da técnica ainda se torna atrativo do ponto de vista econômico baseado na redução de custos energéticos a longo prazo, entre outros benefícios apresentados anteriormente (Bezerra e Curi, 2009).

De acordo com Wilkison, *et al.* (2014), se bem construídos, os telhados verdes podem durar mais do que 50 anos, aproximadamente o dobro do ciclo de vida de um telhado convencional, o que reforça sua viabilidade econômica de instalação.

Na Tabela 3.3 é apresentada uma comparação entre os sistemas de telhado verde e os telhados convencionais, no âmbito de diferentes parâmetros climáticos, hidrológicos, financeiros, entre outros, a partir da experiência da cidade de Portland-EUA (Liptan e Strecker, 2003).

Tabela 3.3: Comparação entre telhados verdes e telhados convencionais. Adaptado de Liptan e Strecker (2003).

Assunto	Telhado Verde	Telhado Convencional
Retenção de Volume de Água	10-35% durante a época chuvosa, 65-100% durante a época seca	Nenhuma
Mitigação da Vazão de Pico	Redução dos picos de escoamento de chuvas intensas	Nenhuma
Mitigação da Temperatura	Todas as chuvas	Nenhuma
Melhoria da Qualidade da Água	Retém a deposição atmosférica e retarda a degradação dos materiais que compõem o telhado	Não
Qualidade do Ar	Filtra o ar, previne o aumento da temperatura, armazena carbono	Nenhuma
Conservação de Energia	Isolamento das construções, redução dos impactos das Ilhas de Calor Urbanas	Nenhuma
Vegetação	Permite evapotranspiração sazonal, promove a fotossíntese, o oxigênio, o balanço carbono hídrico	Nenhuma
Espaço Verde	Realoca espaços verdes perdidos com as edificações, não equivalente a uma floresta	Nenhuma
Habitat	Para insetos e pássaros	Nenhuma
Habitabilidade	Amortece ruídos, elimina luzes ofuscantes, alternativa estética, oferece recreação passiva	Nenhuma
Custos	Altamente variável entre 54 - 130 US\$.m ⁻² para novas construções, e 75-215 US\$.m ⁻² para reforma	22-107 US\$.m ⁻² para novas construções, 43-161 US\$.m ⁻² para reforma
Custos Compensáveis	Redução dos equipamentos de água de chuva, economia de energia, aumento do valor do aluguel e da propriedade, redução da necessidade do uso de materiais isolantes, redução do volume de esgoto, criação de indústrias e empregos	Nenhuma
Durabilidade	Membrana impermeável protegida da ação da temperatura e da exposição solar dura mais de 36 anos	Pouca proteção, exposição aos elementos, dura menos de 20 anos

3.2.5 Exemplos de Aplicação de Telhado Verde no Brasil e no Mundo

Estruturas semelhantes à telhados verdes vêm sendo utilizadas no Brasil há alguns anos. Prédios como o Instituto Central de Ciências (Figura 3.4-a) na Universidade de Brasília, construído em 1964, conta com jardins internos que são também coberturas dos andares inferiores. Casas de arquitetura modernista na década de 70 já contavam com jardins em seus telhados, assim como outros exemplos, o terraço do Palácio Capanema no Rio de Janeiro (Figura 3.4-b) e a prefeitura de São Paulo (Figura 3.4-c).



Figura 3.4: Instituto Central de Ciências da UnB (a), terraço do Palácio Capanema no Rio de Janeiro (b) e a prefeitura de São Paulo (c) (UnB Agência, 2015; Argosfoto, 2015).

Afim de incentivar a implantação de telhados verdes e fornecer informações para sua construção, diversas organizações vêm promovendo telhados verdes em seus países. O Reino Unido por exemplo conta com uma organização (Living Roofs World, 2015), que fornece manuais e consultorias, a fim de sanar dúvidas e fornecer insumos a pessoas interessadas. Essa organização está associada à *European Federation of Green Roofs Association* (EFB, 2015), a qual foi criada em 1997 contando com a Áustria, Alemanha, Suíça, Holanda, Bélgica, Escandinávia, Hungria, Itália, Polônia, Inglaterra e Grécia. A existência de uma federação desse tipo na Europa exhibe um plano de ação já em execução com foco no desenvolvimento de uma estratégia urbanística mais sustentável.

A aplicação de telhados verdes em várias partes do mundo tem visado não só o efeito estético, como também a implantação de tecnologias sustentáveis em conjunto. O edifício Central Park (Figura 3.5 – a, b e c), em Sidney na Austrália, por exemplo, conta com a água captada em seus telhados verdes para utilização no prédio após tratamento.

A Agência Nacional do Canadá “*Canada Mortgage and Housing Corporation*”, aponta em “*Green Roofs: A Resource Manual for Policy Makers*” (2006), diversos casos de aplicação de telhados verdes no Canadá (Figura 3.6) e Estados Unidos. Dentre as principais motivações apontadas, verifica-se o interesse na redução dos efeitos de inundações, diminuição de formação de ilhas de calor nos centros urbanos e redução de consumo de energia para refrigeração de ambientes. O manual, faz um estudo de diversos casos, apontando o desenvolvimento de políticas sobre o assunto. Em 2005, a cidade de Toronto, junto ao *Center for Research in Earth and Space Technology* finalizou um estudo com financiamento de 40.000,00 dólares canadenses para avaliação de custos e benefícios de telhados verdes em áreas urbanas, quantificação econômica/financeira e identificação de pontos que poderiam prover incentivos para sua construção.

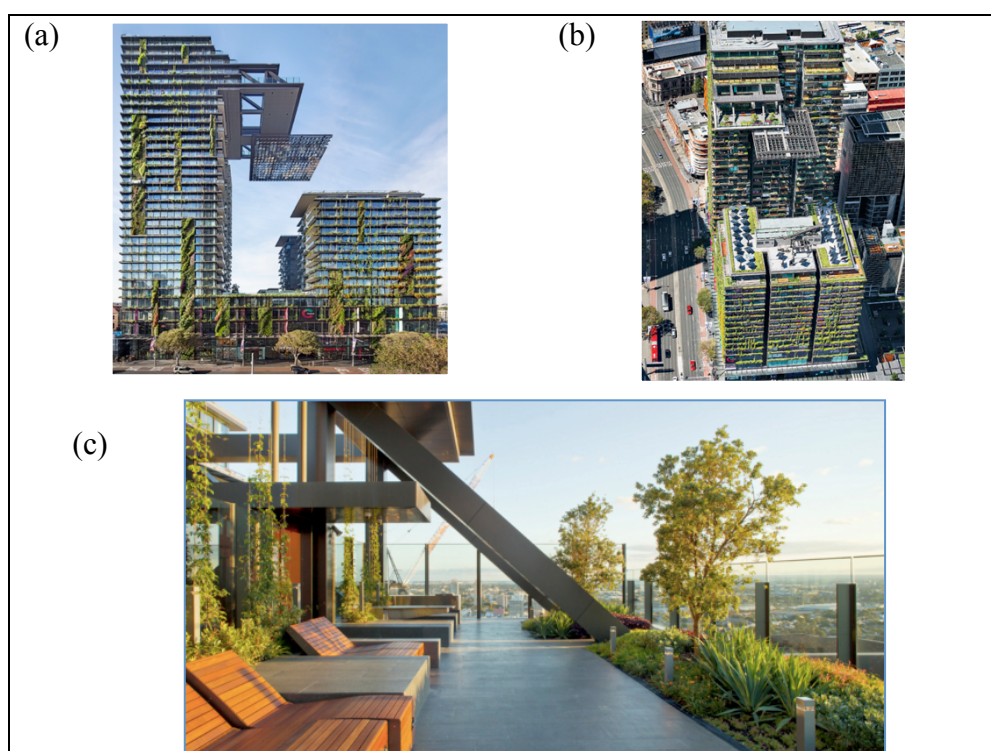


Figura 3.5: Central Park, Sidney. (a) e (b) (ArchDaily Brasil, 2014); (c) (Central Park Sydney, 2015)

Como resultado da avaliação, Toronto adotou em 2006 alguns critérios para o programa de incentivo de pilotos de telhados verdes. O programa oferecia \$10 m⁻² de telhado verde

construído, desde que sua aplicação cobrisse pelo menos 50% da área de telhado da edificação, houvesse mais variedade de espécies plantadas que monoculturas e um coeficiente máximo de escoamento de 50%. O desenvolvimento desse incentivo estava focado principalmente no conforto térmico da cidade, dentro do programa “*Cool Toronto*”, protegendo os cidadãos das temperaturas extremas do verão, o qual possui temperatura média de 26 °C.



Figura 3.6: Telhado Verde em Toronto, no Canadá (Ecotelhado, 2015).

3.2.6 Legislação no Brasil e no Mundo

3.2.6.1 Brasil

Os telhados verdes são uma tecnologia relativamente nova, e que ainda encontra-se sob estudo em diferentes locais do mundo, inclusive no Brasil. Em tramitação no congresso, o Projeto de Lei nº 1.703/2011 que dispõe sobre a instalação do Telhado Verde e dá outras providências, foi aprovado pela Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (CMADS), e pela Comissão de Desenvolvimento Urbano (CDU), esperando Designação de Relator na Comissão de Constituição e Justiça e de Cidadania (CCJC) (Brasil, 2011).

O Projeto de Lei proposto pelo Deputado Jorge Tadeu Mudalen do DEM/SP em 29/06/2011, inicialmente previa a obrigatoriedade de os projetos de condomínios verticais, com mais de 3 (três) unidades agrupadas verticalmente, preverem a construção do telhado verde. Além disso, caberia aos Poderes Públicos dos Estados e do Distrito Federal estabelecer condições e prazos para que os condomínios edificados, comerciais ou residenciais, passem a utilizar em suas coberturas o telhado verde a partir da edição desta Lei (Brasil, 2011).

Em 12/11/2014, foi aprovado o Parecer do Relator Deputado Felipe Bornier (PSD-RJ) com substitutivo na Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (CMADS) que ressaltou a necessidade de modificações ao Projeto de Lei de maneira a torná-lo mais eficiente, executável e coerente com uma futura política pública nacional de “infraestrutura verde”.

Primeiramente, destacou-se que a obrigatoriedade, em si, não é o melhor caminho para a promoção das coberturas vegetadas, pensando na relação entre Poder Público e iniciativa privada. Ainda, ressaltou-se a ideia de três unidades agrupadas verticalmente não é o fator principal dos problemas que os telhados verdes buscam resolver. Não faz diferença haver uma ou mais unidades agrupadas “verticalmente”. A grande questão está na permeabilidade e na vegetação da área.

Sendo assim, o substituto previu então que os projetos de condomínios verticais e horizontais sejam de prédios públicos ou privados, que considerarem a instalação de sistema de “telhado verde”, em pelo menos 65% da área total de suas coberturas, poderão receber incentivos fiscais, financeiros ou creditícios, bem como formas de compensação urbano-ambiental. Ainda, o Substitutivo aprovado estabelece com maior detalhe as especificações técnicas que devem ser observadas na construção dessas estruturas, como das camadas constituintes de telhado verde típico (Brasil, 2011).

A CDU aprovou em julho de 2015 o Parecer do Relator Deputado Herculano Passos (PSD-SP) com substitutivo para o Projeto de Lei em análise, sem grandes modificações e diferenças quanto ao substitutivo da CMADS (Brasil, 2011).

Em termos gerais, pode-se observar que a aplicação dos telhados verdes e sua respectiva legislação de aplicação e construção vem sendo cada vez mais aprofundada no país. Além do projeto de Lei Federal anteriormente citado, existem exemplos de legislações sendo aprovadas em outros estados e municípios.

Primeiramente cabe destacar a Lei 6.349, de 30/11/2012 que determina a construção dos telhados verdes nos prédios públicos, autarquias e fundações do Estado do Rio de Janeiro, projetados a partir da promulgação da presente Lei. Essa Lei Estadual destaca ainda que cabe ao Poder Executivo a promoção de cursos e palestras para a divulgação das técnicas imprescindíveis à realização do projeto, como estrutura, tipos de vegetação e substrato.

Ainda, cabe à Secretaria de Estado de Obras, Secretaria de Estado do Ambiente e da Empresa de Obras Públicas do Estado do Rio de Janeiro, o detalhamento técnico para regulamentação da Lei (Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro, 2012).

Em Recife, a Lei Municipal 18.112/2015, sancionada em 12/01/2015 prevê a melhoria da qualidade ambiental das edificações por meio da obrigatoriedade de instalação do telhado verde, e construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem. Conforme apresentado na Lei, os projetos de edificações habitacionais com mais de 4 pavimentos e não-habitacionais com mais de 400m² de área descoberta deverão prever a implantação de telhado verde para sua aprovação. No âmbito dos reservatórios de águas pluviais, a Lei prevê que sejam executados em lotes com área superior a 500 m², edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 25% da área total do lote, como condição para aprovação de projetos iniciais (Prefeitura de Recife, 2015).

3.2.6.1 Mundo

Enquanto no Brasil a legislação ainda está se iniciando no aspecto de incentivar e/ou exigir a instalação dos telhados verdes, em outras regiões do mundo esse processo já está bastante evoluído, contando com diferentes normas e regulações para sua aplicação, construção e manutenção.

Os regulamentos mais antigos são da década de 1990, o alemão "*Guidelines for the planning, execution and upkeep of Green Roof sites*" do centro de pesquisa *Landscaping and Landscape Development Research Society e.V.* (FLL) de Bonn, na Alemanha. As diretrizes contêm os tipos de telhados verdes, tipos de vegetação, os requisitos para a construção, e os procedimentos de conservação e manutenção para os telhados verdes. Os guias da FLL vêm sendo usados em diferentes regiões do mundo, e por vários setores da indústria dos telhados verdes (CMHC, 2006; IGRA, 2015;).

Sendo assim, pode-se considerar que a Alemanha é o líder mundial na documentação dos benefícios dos telhados verdes, evoluindo no desenvolvimento tecnológico, de programas e de políticas governamentais. Em 2012 aproximadamente 35% das cidades já haviam incorporado os telhados verdes em seus regulamentos, sendo que o país possuía na época,

cerca de 86 mil m² de telhados verdes, 14% de sua área total de telhados (Living Roofs World, 2015).

Na Austrália, a cidade de Sidney adotou em 2014 a primeira política do país para telhados e paredes verdes. A política inclui um plano de 3 anos de implementação para que ela fosse devidamente entendida, implementada e integrada. Atualmente, há cerca de 58 telhados verdes registrados na cidade. Destaca-se que a política foi aprovada pelo Conselho da cidade após revisão das políticas e programas internacionais; análise das percepções da sociedade e das indústrias; e consulta pública (Wilkinson e Feitosa, 2015).

Na cidade de Melbourne, também na Austrália, o guia para o crescimento verde (*Growing Green Guide for Melbourne*) foi desenvolvido para ajudar no entendimento da tecnologia, seus benefícios e métodos de *design*, construção e manutenção para todos os setores da sociedade e industriais. Em 29 de Novembro de 2015, o guia ganhou o prêmio de sustentabilidade do Estado de Victoria (*Premier's Sustainability Awards*) na categoria de Educação e foi finalista na categoria de Governabilidade (State Government of Victoria, 2014).

Toronto, no Canadá, previamente citada pelos seus incentivos, foi a primeira cidade da América a ter um requerimento por Lei que regulamenta a construção de telhados verdes em novos empreendimentos. Essa Lei foi adotada pelo Conselho da Cidade em maio de 2009, sob a autoridade do artigo 108 da Lei da Cidade de Toronto (*City of Toronto Act*). A cidade de Toronto possui 444 telhados verdes implantados, sendo que 260 (196.000 m² de área de telhado verde) foram criados após a implementação da Lei, no período de 1º de Fevereiro de 2010 até 1º de Março de 2015 (Toronto, 2015).

Na Tabela 3.4 é apresentada uma breve comparação entre as políticas públicas aplicadas em várias partes do mundo. Deve-se destacar que cada local tem uma especificidade que incentivou a aplicação dos telhados verdes, como por exemplo: manejo de águas pluviais, ilhas de calor, e qualidade do ar (James e Metternicht, 2013).

Pode-se observar que na França (Tabela 3.4), a política pública a ser implantada no país objetiva apenas os empreendimentos construídos em área comercial, e ainda não há especificações da porcentagem do telhado que deve ser constituído de telhado verde.

Ainda, deve-se destacar a frequência com que é realizado o incentivo governamental para a instalação das coberturas verdes em diversos países.

Tabela 3.4: Experiências Internacionais de Políticas Públicas de Telhados Verdes (Adaptado de: James e Metternicht, 2013; My Plant Connection, 2015; IGRA, 2015; City of Chicago, 2015)

Países	Incentivo econômico	Edificações residenciais, comerciais ou industriais	% da superfície do telhado	Drenagem urbana
Alemanha (Munich)	Há incentivos fiscais	Exigido para todos as edificações com uma área superficial > 100 m ²	Não informado	Há redução nas taxas de drenagem urbana
Canadá (Toronto)	Proprietários podem receber \$50 m ⁻² de telhado verde instalado, até \$100.000 para construir um telhado verde.	Exigido para novas edificações com uma superfície coberta mínima de 2000 m ²	Cobertura verde deve ser de 20 a 60% do telhado, descontados os usos para energias renováveis	Não informado
México (Cidade do México)	Incentivo de até 10% do valor do imóvel se 1/3 da cobertura for telhado verde	Não informado	Não informado	Não informado
Dinamarca (Copenhague)	Não informado	Os novos edifícios (com inclinação menor ou igual a 30°) devem ter telhados verdes	Não informado	Deve absorver de até 80% da água da chuva
EUA (Chicago)	Os proprietários podem receber \$75/m ² de telhado verde instalado, até \$100.000. Ainda, há um bônus aos que possuírem 50% ou 186 m ² da área do telhado com cobertura verde.	Exigido para novos empreendimentos acima de 200 m ² , estes recebem certificação baseada no Programa <i>Chicago Green Homes</i> ou LEED	Cobertura verde pode variar de 20-60% do telhado	Devem aumentar a permeabilidade em 15% ou 12,5 mm de chuva
EUA (Nova Iorque)	O proprietário pode receber até \$100,000 ou \$4,50 ft ⁻² em crédito na aplicação de pelo menos 50% do telhado com cobertura verde	Não informado	Não informado	A taxa será de 25 ft ³ .s ⁻¹ ou 10% do antigo fluxo permitido. Se o fluxo for maior do que a taxa de lançamento permitida, o excedente deve ser captado e armazenado.
França	Não se aplica	Exigidos apenas para novas edificações em ambiente comercial. Devem ter parte do telhado coberto por vegetação ou painéis solares.	Não se aplica	Não informado

3.3 TELHADOS VERDES E A DRENAGEM URBANA

3.3.1 Ciclo Hidrológico

A energia solar associada à gravidade e a rotação terrestre impulsionam o fenômeno de circulação fechada da água entre a superfície da terra e a atmosfera, o chamado ciclo hidrológico. Este é constituído por diversos elementos como a precipitação, interceptação, infiltração, transpiração, evaporação e escoamento superficial.

A precipitação consiste no fenômeno de aglutinação e crescimento das microgotículas em nuvens, que quando atinge uma grande quantidade de gotas, ocorrem na forma mais comum como chuva, podendo também ocorrer como granizo ou neve. Quando parte desse volume precipitado encontra folhas e caules, é a chamada Interceptação.

No momento em que a precipitação atinge o solo, enquanto este não está saturado ou impermeabilizado, ocorre o processo de infiltração, que do interior do solo é comandada pelas tensões capilares nos poros e pela gravidade, e fornece umidade. Quando os vegetais devolvem à atmosfera a umidade que absorveram do solo, é a chamada Transpiração. O retorno da superfície terrestre para a atmosfera é a chamada Evaporação. Já o Escoamento superficial é impulsionado pela gravidade para as cotas mais baixas. A presença de vegetação na superfície do solo favorece a infiltração da parcela de água escoada.

Apesar do ciclo hidrológico ser um fenômeno entre a superfície terrestre e a atmosfera, seu estudo geralmente concentra-se na fase terrestre, tendo a bacia hidrográfica como elemento fundamental. A bacia hidrográfica é a área de captação natural da água da precipitação que converge para um único ponto de saída, seu exutório (Silveira, 2012).

Segundo Tucci (2005), a distribuição da vazão em uma bacia hidrográfica no tempo é uma consequência da interação de todos os componentes do ciclo hidrológico entre a ocorrência da precipitação e a vazão na bacia hidrográfica. O hidrograma (Figura 3.7) é o gráfico que relaciona a vazão no tempo, e sua forma depende de diferentes fatores como relevo, forma da bacia, cobertura da bacia, distribuição e duração e intensidade da precipitação e modificações artificiais do rio (Tucci, 2012).

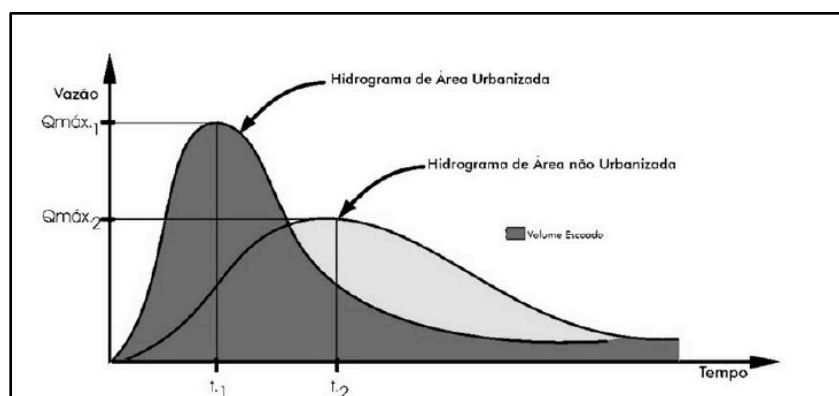


Figura 3.7: Resposta hidrológica da bacia hidrográfica (Silva, 2014)

Bacias com maior cobertura vegetal tendem a gerar hidrogramas mais distribuídos e com picos mais baixos do que bacias urbanas (Figura 3.8), onde a cobertura foi alterada por superfícies impermeáveis, tornando a rede de drenagem mais eficiente. Esse acréscimo de vazão implica no aumento dos condutos pluviais e consequentemente gera acréscimo de custos no sistema de drenagem. A impermeabilização do solo devido ao processo de crescimento urbano, causa ainda aumento da frequência de inundações e diminuição do tempo de concentração da bacia (Tucci, 2012; Formiga *et al.*, 2012).

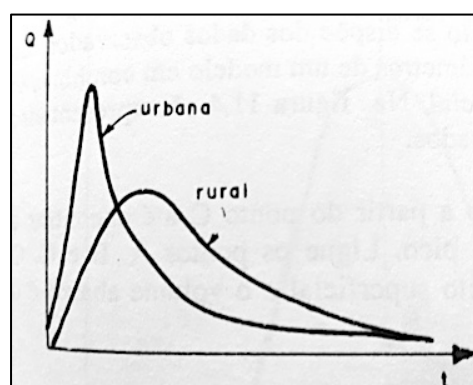


Figura 3.8: Hidrogramas bacia rural e urbana. Vazão (Q) x Tempo (t) (Tucci, 2012)

Visando a solução das inundações, o poder público, em alguns casos, buscou a estratégia de aumentar a capacidade da rede de drenagem com o uso de bocas de lobo, calhas, sarjetas e tubulações enterradas. No entanto, essas estruturas não contribuem para uma gestão eficiente das cheias, uma vez que apenas desempenham o papel de transferir o problema para regiões à jusante, desconsiderando uma visão global do sistema (Tucci, 2007; Holtz, 2011).

Os novos desafios dos sistemas de drenagem urbana, segundo Holtz (2011), concentram-se então na busca de alternativas mais eficientes para controle do escoamento, evitando ou reduzindo as enchentes e alagamentos, e favorecendo o processo de infiltração. Conforme Tucci (2007), é de extrema importância a aplicação de alternativas ao alcance de todos, como por exemplo o uso de pavimentos permeáveis e calhas que despejam a água da chuva em jardins, medidas estas que recuperam a capacidade de infiltração do solo in loco.

Com o intuito de corrigir os processos hidrológicos alterados pela urbanização, Silva (2007) aponta a alternativa de uso de técnicas compensatórias que propiciam a infiltração no local de precipitação, antes que a água drenada atinja a rede de drenagem convencional. Baptista *et al.* (2005), destacam que as técnicas compensatórias estruturais se diferem majoritariamente pela geometria e capacidade de captação do volume escoado, sendo exemplos dessas: trincheiras, colchões drenantes, valetas, valas, poços de infiltração, dentre outros.

Os telhados verdes são então estruturas que podem ser implantadas em série com medidas compensatórias estruturais, atuando na captação de água e promovendo os benefícios apontados anteriormente. A possibilidade de captar a água da chuva com essas estruturas pode então atenuar possíveis eventos de inundação, com um aproveitamento preliminar de irrigação de vegetações e promoção de conforto às edificações em que estão instalados.

4 METODOLOGIA

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado e conduzido no campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília, onde foram instaladas três unidades pilotos na Estação Experimental de Biologia, que simularam três tipos de telhados. Um com cobertura de telha de fibrocimento (TT), outra com cobertura verde de graminéa (TG) e outra com cobertura de hortaliças (TH).

Na mesma área, próximo as estruturas dos telhados piloto, foi instalado um pluviôgrafo para monitoramento da ocorrência de chuvas na área. A Figura 4.1 mostra a localização da área onde o pluviôgrafo e as estruturas dos telhados piloto foram instaladas.

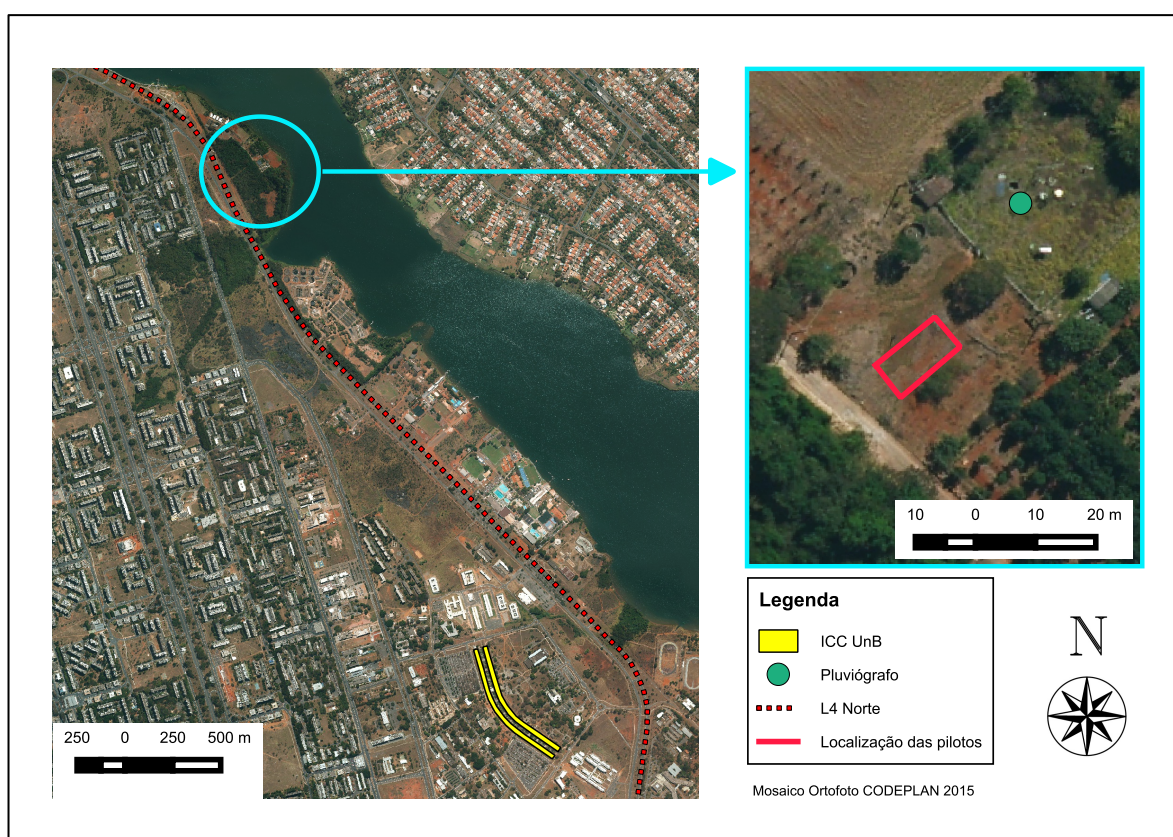


Figura 4.1: Localização da Estação Experimental da Biologia – UnB (círculo azul) e detalhamento da área onde o pluviôgrafo e as unidades piloto foram instaladas.

A cidade de Brasília está situada no Distrito Federal, na porção central do Planalto Central Brasileiro e apresenta clima Tropical com estação seca no inverno, Aw , de acordo com a classificação de Koppen (Cardoso, 2014).

O clima da região é caracterizado por uma estação quente e chuvosa, de outubro a abril e outra fria e seca, de maio a setembro, com temperatura média anual variando entre 18 e 22 °C e precipitação média anual de 1600 mm (Figura 4.2)

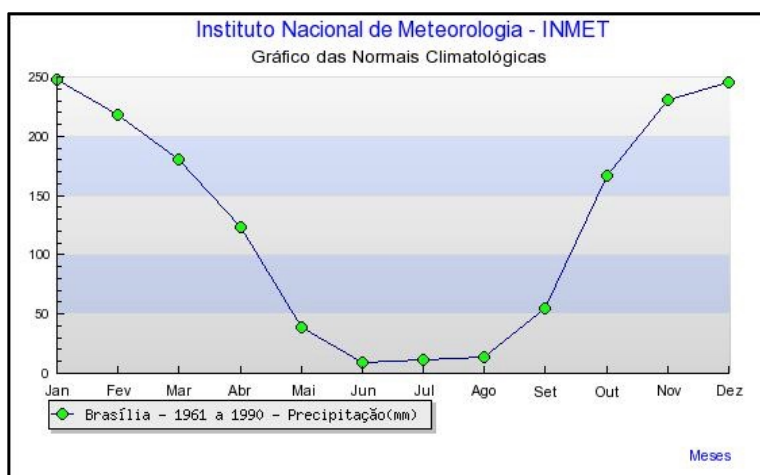


Figura 4.2: Gráfico das Normais Climatológicas de Precipitação (mm) para Brasília de 1961 a 1990 (INMET, 2016)

4.2 MONTAGEM DAS UNIDADES PILOTO

A base estrutural das três unidades piloto foi construída de metal, sendo constituído de dois cavaletes, um de 1 m de altura e o outro com 1,05 m de altura, com uma distância entre eles de 0,64m, para obtenção da inclinação desejada de 5,5% (Garcia *et al.*, 2005; Van Woert *et al.*, 2005) para a superfície do telhado (Figura 4.3 (a))

A unidade piloto que simulou um telhado convencional (TT) teve instalada acima de sua base metálica uma telha ondulada de fibrocimento de 1,5 x 1m devidamente parafusada. Para coleta da água da chuva, foi acoplada uma calha de PVC à telha e esta foi conectada a um galão de 20 L por meio de uma mangueira de plástica de 20 mm de diâmetro e de 40 cm de comprimento.

As outras duas unidades pilotos que simularam telhados verdes extensivos (TG e TH), tiveram uma base metálica gradeada de 1,5 x 1,0 m parafusada acima dos cavaletes. Essa grade serviu de sustentação para uma caixa de madeira de 1,5 x 1,0 m, com 0,30 m de altura, com um corte na extremidade inferior de sua porção mais baixa, responsável pelo escoamento da água drenada (Figura 4.3 (b)). Na extremidade do corte, foi instalado uma calha de inox que drenou a água para um galão de 20L por meio de uma mangueira de plástico de 20 mm de diâmetro e 40 cm de comprimento.



Figura 4.3: (a) Estrutura metálica de suporte das unidades piloto; (b) Caixa para simulação de telhado verde sobre estrutura metálica

Em sentido ascendente foram dispostas no interior da caixa de madeira as seguintes camadas de um telhado verde típico: primeiramente foi posta a camada impermeabilizante, composta de uma lona plástica resistente de cor branca; em seguida colocou-se a argila expandida comercial, constituindo a camada drenante de aproximadamente 5 cm de espessura; a próxima camada foi constituída de uma manta de geotêxtil, de aproximadamente 1cm de espessura, gentilmente cedido pelo Prof. Ennio Marques Palmeira, da Área de Geotecnia do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UnB (Figura 4.4); o substrato utilizado teve uma espessura de aproximadamente 0,25 m, este foi obtido na Estação Experimental de Biologia; a última camada, referente à vegetação, foi o grande diferencial no âmbito da piloto TG e TH, sendo feito o plantio de gramíneas na unidade piloto TG, enquanto que na unidade TH foram plantadas hortaliças. As hortaliças utilizadas foram: cebolinha (*Allium fistulosum*), rabanete (*Raphanus sativus*), coentro (*Coriandrum sativum*) e salsa (*Petroselinum crispum*), e para a unidade TG plantou-se a grama batatais (*Paspalum notatum*).

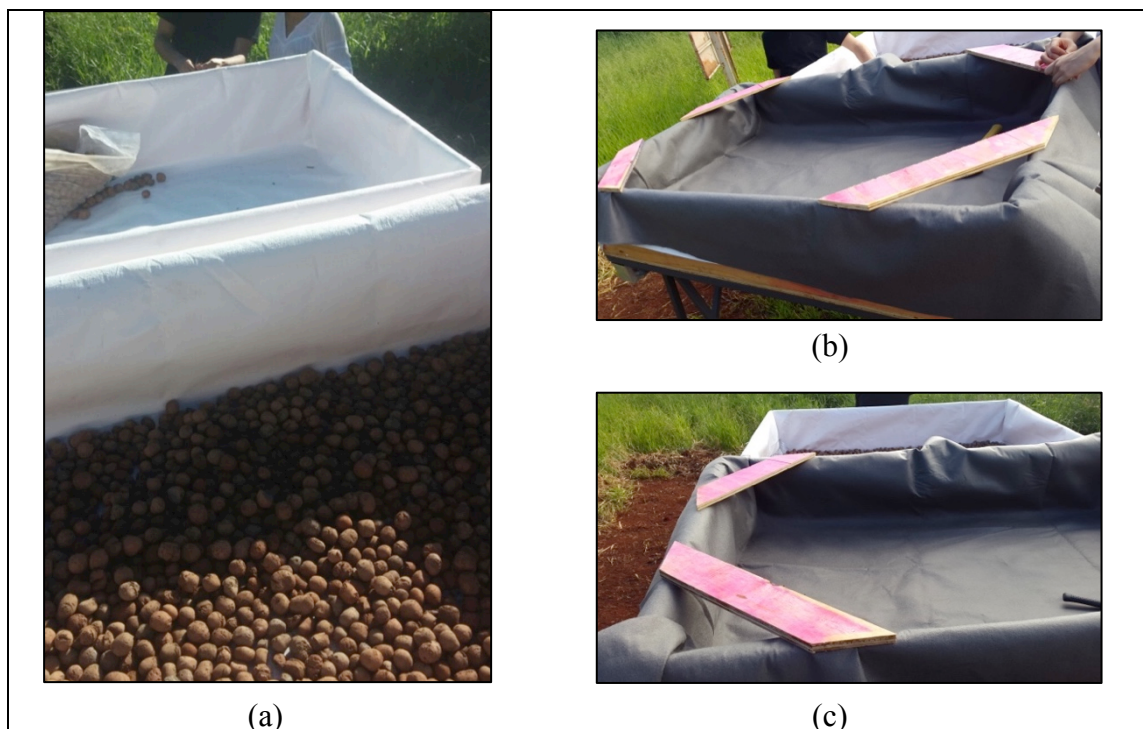


Figura 4.4: Montagem das estruturas piloto dos telhados verdes. (a) Camada drenante de argila expandida; (b) e (c) Camada filtrante constituída de uma manta de geotêxtil

A camada de substrato foi preparada com a nutrição necessária para a manutenção da vegetação. Primeiramente, uma amostra do solo foi coletada e enviada para análise no Laboratório de Solo-Química – Análise de Solos LTDA. Após a obtenção dos resultados dos parâmetros físicos e químicos do solo (composição granulométrica; pH; Teor de fósforo (P), cálcio (Ca), potássio (K), sódio (Na), alumínio (Al); acidez total (H+Al); Soma das Bases, CTC; Carbono orgânico; Matéria orgânica; Saturação por Base, por Alumínio e com Sódio; Micronutrientes, boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e enxofre (S)). Após a obtenção dos resultados, foi solicitada uma consulta à EMATER-hortaliças e à EMBRAPA - hortaliças, que indicou a relação ideal dos nutrientes necessários para o desenvolvimento da vegetação.

Para a correção do pH e das concentrações de cálcio e magnésio utilizou-se por unidade piloto, $133,3 \text{ g/m}^2$ de calcário dolomítico com PRNT de 90%. Para a adubação, aplicou-se, por unidade piloto, 400 g/m^2 de adubo químico NPK com a fórmula 4-14-8. Para aumentar o teor de matéria orgânica, adicionou-se cerca de 4 kg/m^2 de composto orgânico por unidade piloto. O solo foi devidamente revolvido, buscando uma uniformização dos compostos adicionados (Figura 4.5). Depois da correção do solo, foi retirada outra amostra para realizar nova análise no mesmo laboratório dos mesmos parâmetros analisados anteriormente.

Em cada piloto, além da adubação química inicial, após 10 dias do plantio foi adicionado $66,67 \text{ g/m}^2$ do adubo químico NPK com a fórmula 10-10-10. Uma segunda aplicação de $66,67 \text{ g/m}^2$ de NPK foi feita 15 dias após o plantio, a terceira 30 dias após o plantio e a última 45 dias após o plantio. Cabe destacar que ambas as pilotos TG e TH tiveram a mesma preparação nutricional para então receber o plantio das gramíneas e hortaliças, respectivamente.



Figura 4.5: (a) Preparação do substrato; (b) Acomodação do substrato acima da camada filtrante

Na unidade piloto com cobertura verde de gramínea, cada pequeno bulbo da grama batatais foi individualmente enterrado e distribuídos uniformemente sobre a área da piloto. Foi respeitado um espaçamento de cerca de 8 cm entre cada bulbo. Para a unidade piloto com hortaliças, plantou-se uma fileira de cebolinha, outra de coentro e a terceira de salsa. O rabanete foi semeado manualmente em uma quarta fileira (Figura 4.6). Para a manutenção dos telhados verdes sempre com vegetação para a adequada experimentação, as mudas que não obtiveram um grande desenvolvimento ou pereceram foram replantadas.



Figura 4.6: (a) Mudanças de hortaliças utilizadas para o plantio; (b) Plantio de mudas e semente de hortaliças

O desenvolvimento e crescimento da vegetação de ambas as pilotos foi acompanhado a cada dois dias por meio da observação visual da condição de crescimento e verificação da existência de pragas.

Para evitar o estresse hídrico das culturas, foi feita a irrigação com volume de 10 L, para cada piloto, quando observado um intervalo de estiagem maior que 1 dia. Cada processo de irrigação durou aproximadamente 2 minutos, com uso de um regador.

As 3 unidades piloto ficaram instaladas na Estação Experimental de Biologia a partir do dia 01 de fevereiro, tendo sido acompanhadas até dia 01 de junho (Figura 4.7).



Figura 4.7: Disposição final das unidades piloto

4.3 CALIBRAÇÃO E INSTALAÇÃO DO PLUVIOGRÁFO

O pluviógrafo (modelo *HOBO RG2 Rain Gauge Data Logger*) utilizado para monitoramento da ocorrência de chuvas na área de estudo foi calibrado e instalado de acordo com as recomendações do seu manual. Primeiramente, realizou-se a limpeza e lubrificação do equipamento. Então, verificou-se o correto nivelamento do solo conforme a bolha de nível para então prosseguir com a calibração.

O processo de calibração foi realizado com uma garrafa de plástico com capacidade de um litro e em sua parte inferior foi feito um pequeno orifício por onde a água saiu por gotejamento. A garrafa foi colocada no topo do funil do medidor de precipitação, sem que o pequeno furo ficasse sobre o orifício central do funil. A seguir colocou-se no interior da garrafa exatamente 473 ml de água no recipiente, e esperou-se o esvaziamento do recipiente. A correta calibração foi atingida quando observou-se cerca de 101 batidas do *bucket* durante mais de uma hora (Onset, 2001).

A instalação do pluviógrafo foi realizada em cima de uma base de metal à 1,40 m do solo. O equipamento foi devidamente parafusado para evitar movimentações que interferissem na medição. O local escolhido para a instalação do pluviógrafo não possuía árvores por perto, nem outras barreiras, que pudessem interferir no monitoramento das chuvas.

4.4 COLETA DE DADOS

A coleta de dados quantitativos e qualitativos da água drenada das unidades piloto, foi realizada a partir do dia 01 de fevereiro até dia 01 de junho, período em que as 3 unidades ficaram instaladas na Estação Experimental de Biologia.

4.4.1 Análise quantitativa de capacidade de retenção de água nas unidades piloto de telhado verde

A análise da capacidade de retenção de água das unidades piloto foi realizada em duas abordagens distintas, sendo a primeira a partir da observação das unidades piloto durante o final do período chuvoso, e a segunda por meio de um ensaio de retenção hídrica, descritas nos itens 4.4.1.1 e 4.4.1.2 a seguir.

4.4.1.1 Período chuvoso sem controle da umidade do solo

Para avaliação do volume de água drenada durante o período chuvoso, foram realizadas medições do volume de água armazenado nos recipientes de coleta, galões de 20L, com o uso de uma proveta de 1 L. A frequência de medição variou de acordo com a observação dos eventos de chuva, sendo feitas sempre nos dias seguintes aos eventos de chuva. Dessa forma as amostras poderiam conter volumes acumulados de mais de um evento de chuva, visto que o registro da água drenada não era realizado imediatamente após cada chuva.

4.4.1.2 Ensaio da capacidade de retenção com medida da umidade do solo e entrada controlada de água

Na segunda etapa experimental, buscou-se a avaliar o volume de água drenada a partir de um volume fixo de entrada de água nas unidades piloto. Para delinear o desenho amostral foram utilizados parâmetros de chuvas de projeto para o DF, estabelecidos pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal (2009), bem como os dados obtidos durante o monitoramento das unidades piloto no período chuvoso (item 4.4.1.1).

Para a análise quantitativa de capacidade de retenção de água das unidades piloto de telhado verde (telhado de grama e telhado de horta), foram utilizados os parâmetros da curva de intensidade, duração e frequência (IDF) estabelecidos pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal (2009) e os parâmetros de projeto de instalações prediais de águas pluviais estabelecidos pela NBR 10844/1989.

Segundo o Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal do DF (2009), a curva IDF utilizadas nos cálculos de drenagem urbana do DF seguem a equação a seguir:

$$I = \frac{1574,70 \times T^{0,207}}{(tc+11)^{0,884}} \quad \text{Equação (4.1)}$$

Onde, I = intensidade (mm/h); T = tempo de retorno (anos); tc = duração da chuva (min). O mesmo documento informa ainda que a precipitação de projeto utilizada originalmente no projeto de macrodrenagem do DF tem um tempo de retorno de 5 anos, porém atualmente são observados eventos que resultam em inundações na cidade, com tempo de retorno inferiores a 1 ano. O chamado Tempo de retorno (Tr) corresponde ao número médio de anos no qual se espera que determinado evento (precipitação ou vazão) seja igualado ou superado (Santos *et al.*, 2013).

Considerando ainda a NBR 10844/1989, que trata de instalações prediais de águas pluviais, são estabelecidos os critérios de tempo de retorno de 5 anos para coberturas e terraços, duração de precipitação fixada em 5 minutos e recomendação de intensidade de 150mm/h.

Sendo assim, tomando-se como base uma chuva com duração de 5 minutos e 5 anos de tempo de retorno foi calculada uma intensidade de 189,43 mm/h para o DF (Equação 4.1), mais intensa que a recomendação da NBR. Para esse evento, considerando a área total do telhado (1,5 m²) foram então estabelecidos os parâmetros do ensaio de retenção de água nas unidades piloto apresentados na Tabela 4.1

Tabela 4.1 – Parâmetros do ensaio de retenção de água nas unidades piloto de telhado verde

Duração (min)	Tempo de retorno (anos)	Intensidade (mm/h)	Volume precipitado no telhado (L)
5	5	189,43	23,68

Em função das observações durante a irrigação diária das unidades piloto no período de estiagem e dos volumes de água drenado durante o período chuvoso, foi constatado que a entrada de 23,68 L de água (Tabela 4.1), não geraria água drenada das unidades piloto. Dessa forma, para verificar a capacidade de retenção hídrica dos telhados verdes das unidades piloto, foi feita a repetição do evento descrito na Tabela 4.1, com um volume de 20 L, totalizando ao final do ensaio, um volume total de 80 L de água. O arredondamento do volume de entrada de água (de 23,68 para 20 litros) foi feito para facilitar a medição do volume durante o ensaio.

As simulações de entrada de água nas unidades piloto foram realizadas com o auxílio de dois regadores com volume de 10 L cada. Dessa forma, alternou-se a irrigação de 20 L de água no sistema a cada 5 minutos, com o descanso de 5 minutos, com quatro repetições, totalizando uma entrada total de 80 L de água. Essa esquematização foi efetuada igualmente para as unidades pilotos de grama e de hortaliças. As medidas da água drenada foram realizadas por mais 40 minutos após os 35 minutos iniciais do ensaio, totalizando assim um tempo total de ensaio de 1 hora e 15 minutos.

Para o registro dos dados, utilizou-se um cronômetro para assegurar os 5 minutos de irrigação e de descanso, e também para registrar o momento em que se iniciou a drenagem e o tempo de drenagem de cada litro de água.

Foram feitas três simulações em cada piloto de telhado verde (TG e TH), no período da tarde, com medição do teor de umidade do solo antes do início do experimento. Para aferição do teor de umidade, retirou-se uma amostra transversal do solo e no Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) da UnB deu-se continuidade à análise seguindo a NBR 6457/1986.

As simulações de entrada de água nas unidades piloto foram feitas de maneira intercalada entre a unidade de hortaliça e a de grama. Assim, a 1^a, 3^a e 5^a simulações referem-se ao telhado com hortaliça, enquanto que a 2^a, 4^a e 6^a simulações referem-se ao telhado com grama. As simulações 1 e 2 foram realizadas no mesmo dia, após 112 dias do plantio (12/05/16) das culturas, sob a condição de uma semana de estiagem, estando o solo apenas com a umidade proveniente da irrigação.

No 117º dia do experimento (17/05/16) foi realizada a simulação 3 no telhado contendo hortaliças. A simulação 4, no telhado de grama, foi executada no dia 118 de experimento (18/05/16). Ambas as simulações 3 e 4 corresponderam a dias em que registrou-se ocorrência de chuva.

A última simulação no telhado de hortaliça (ensaio 5) e no telhado de grama (ensaio 6) foram realizadas no 124º dia de experimento (24/05/16), após uma semana de estiagem. A condição da vegetação em cada uma das unidades piloto é apresentada na Figura 4.8.

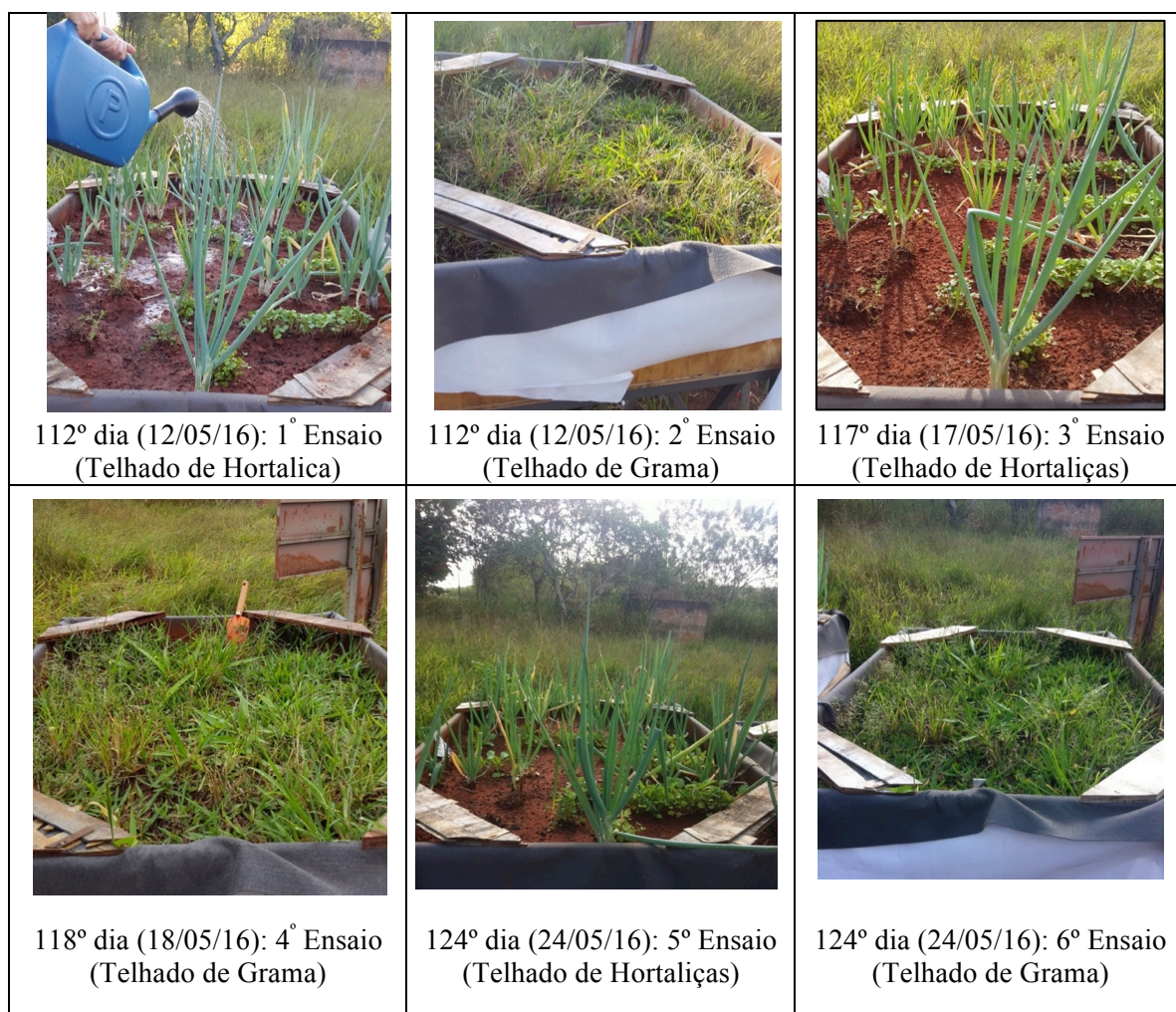


Figura 4.8: Condição da vegetação das unidades piloto em dia de ensaio de entrada com volume controlado.

4.4.2 Qualidade da água drenada

As coletas de amostra para análise da qualidade da água drenada das unidades pilotos foi realizada apenas durante o período chuvoso.

A amostragem da água drenada das unidades piloto foi realizada por meio de garrafas PET de 2L. As garrafas foram previamente higienizadas com ácido clorídrico (HCl) 0,2M por 2 horas, e enxaguadas com água destilada, para então serem utilizadas para a coleta. No momento da coleta das amostras de água drenada, cada garrafa foi inicialmente ambientada com uma alíquota da amostra e em seguida enchida com a água coletada nos galões de cada piloto. As amostras foram imediatamente levadas ao Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) da UnB para realização das análises físicas, químicas e biológicas.

Os parâmetros físicos, químicos e biológico que foram analisados nas amostras de água coletadas das unidades piloto foram: pH, turbidez, oxigênio dissolvido, fósforo total, nitrito, amônia, coliformes totais e *Escherichia coli*. Os respectivos métodos de análise são listados na Tabela 4.2

Tabela 4.2 - Relação de parâmetros físicos, químicos e biológico realizados para análise da qualidade da água amostrada nas três unidades piloto.

Parâmetro	Método de análise	Referência
pH	Eletrométrico	APHA 4500 H ⁺ B
Turbidez	Nefelométrico	APHA 2130 B
Oxigênio dissolvido	Método iodométrico	APHA (4500B).
Fósforo total	Pré digestão/ Ascórbico/molibdato	HACH 8190
Nitrito	Colorimétrico/ sulfanílico	APHA/4500B
Amônia	Colorimétrico	HACH 8038
Coliformes Totais	Substrato Cromogênico	APHA 9223B
<i>Escherichia coli</i>	Substrato Cromogênico	APHA 9223B

4.5 ESTIMATIVA DE INSTALAÇÃO DE TELHADOS VERDES EM ÁREA RESIDENCIAL URBANA

Para avaliar o impacto da construção de telhados verdes na alteração de processos hidrológicos, como evapotranspiração, escoamento, infiltração, entre outros, em uma área urbana foram utilizados os resultados obtidos com os ensaios realizados nas unidades pilotos de telhados verde (item 4.4.1.2).

A projeção foi feita em uma área que representa a ocupação urbana típica de Brasília, sendo assim considerou-se a área de cobertura dos blocos residências da quadra SQN 402 da Asa Norte, calculada por meio do software *Qgis* e ortofoto disponibilizada pela Codeplan. As projeções de retenção de volumes de água foram feitas considerando duas

situações: implantação de telhado verde em toda a área de cobertura dos blocos residenciais, e implantação de telhado verde em 65% da área de cobertura dos blocos residenciais. A porcentagem de instalação utilizada na projeção (65%) segue a recomendação do Projeto de Lei nº 1.703/2011, ainda em tramitação no congresso.

A projeção de volume de chuva retido para a área residencial adotada foi realizada conforme o evento de chuva utilizado para a realização do ensaio descrito no item 4.4.1.2 (intensidade de 189,43 mm/h, Tr de 5 anos e duração de 5 minutos).

Primeiramente delimitou-se a área construída dos prédios residenciais com a criação de polígonos no software Qgis (Figura 4.9). A partir dessa delimitação a área correspondente foi calculada pelo mesmo software.



Figura 4.9: Traçado dos polígonos no software Qgis para cálculo das áreas de cobertura dos prédios residenciais da SQN 402, Brasília-DF.

O volume total retido pela área com o telhado verde foi então calculado a partir da Equação 4.2.

$$V = \frac{A \times I \times tc \times b}{10^3 \times 60} \quad \text{Equação (4.2)}$$

onde, V = volume de água retido pelo telhado verde (m^3); I = intensidade (mm/h); A = área de telhado verde; tc = duração da chuva (min); b = capacidade de retenção hídrica obtida no ensaio.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Os resultados obtidos das análises físicas e químicas do solo utilizado na montagem das unidades piloto encontram-se na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Caracterização do solo utilizado para plantio da vegetação nas unidades piloto antes e depois da correção e valores de referência.

<i>Parâmetros</i>		<i>Valores Obtidos</i>		<i>Valores de referência</i>
		<i>Antes</i>	<i>Depois</i>	
<i>Composição Granulométrica</i>	Argila (g/Kg)	325	300	-
	Areia (g/kg)	625	675	-
	Silte (g/kg)	50	25	-
<i>Complexo Sortivo</i>	pH em água	5,5	7,2	5,6 a 6,9
	Teor de Fósforo - P extraído com Mehlich (mg/dm ³)	5,3	18,8	20,1 a 30,0
	Teor de Cálcio - Ca (cmol _c /dm ³)	1,6	4,6	> 2,5
	Teor de Magnésio - Mg (cmol _c /dm ³)	0,4	0,6	> 0,6
	Teor de Potássio - K (cmol _c /dm ³)	0,1	1,51	> 0,13
	Teor de Sódio - Na (cmol _c /dm ³)	0,02	0,19	< 0,15
	Teor de Alumínio - Al (cmol _c /dm ³)	0,1	0	0,0 a 0,5
	Teor de Acidez Total (H + Al) (cmol _c /dm ³)	2,4	1,6	< 2,5
	Soma das Bases (cmol _c /dm ³)	2,14	6,92	3,6 a > 6,0
	Capacidade de Troca de Cátions - CTC, a pH 7 (cmol _c /dm ³)	4,54	8,52	6,1 a > 9,0
	Carbono Orgânico - C (g/Kg)	3,8	0,5	17,5 a > 23,4
	Matéria Orgânica - MO (g/Kg)	6,5	0,8	30 a > 40,0
<i>Saturação</i>	por Base - V (%)	47	81	60,1 a 80,0
	por Alumínio - m (%)	4,5	0	< 15,0
	com Sódio - ISNa (%)	0,8	2,7	< 7,0 a 10,0
<i>Micronutrientes</i>	Boro disponível - B (mg/dm ³)	0,03	0,09	0,61 a > 0,90
	Cobre disponível - Cu (mg/dm ³)	0,72	2,64	1,21 a > 1,80
	Ferro disponível - Fe (mg/dm ³)	459,8	94,1	30,1 a > 45,0
	Manganês disponível - Mn (mg/dm ³)	9,9	19,7	9,0 a > 12,0
	Zinco disponível - Zn (mg/dm ³)	13,4	10,7	1,6 a > 2,20
	Enxofre disponível - E (mg/dm ³)	9,5	90	> 10,0

Os resultados da análise inicial do solo indicaram a necessidade de correção principalmente do pH, teor de cálcio e magnésio, matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e potássio (NPK). O solo encontrava-se com deficiência de carbono orgânico e de matéria orgânica. Pode-se destacar também que o solo estava com o pH bastante ácido, quantidade insuficiente de fósforo, baixa Capacidade de Troca de Cátions (CTC), e baixa quantidade de boro e cobre disponíveis de acordo com parâmetros base apresentados por Silva (1985), EMATER (1987) e Raij (1991).

Após a correção do solo, os resultados (Tabela 5.1) mostram que houve uma melhora no valor dos parâmetros analisados, como pH neutro, aumento do teor de fósforo e de cobre disponíveis e ainda da CTC. No entanto, o teor de carbono orgânico e de matéria orgânica diminuíram, havendo assim uma piora nesses dois parâmetros que são essenciais para a fertilidade do solo e para o bom desenvolvimento da vegetação. Cabe destacar que a matéria orgânica é a parte mais importante dos componentes físico-químicos do solo com objetivos agrícolas, quanto mais rico for o solo em matéria orgânica, maior produção ele dará (Silva, 1985; EMATER, 1987). Dessa forma, a adubação feita foi suficiente para propiciar o crescimento vegetal das culturas.

A deficiência nos teores de carbono e matéria orgânica antes e após a correção do solo podem ser resultado de uma adubação insuficiente, visto que foi adicionado um composto orgânico fruto de compostagem de alimentos, mas que conforme apresentado nas análises, não foi suficiente para atingir os níveis desejados desses compostos no solo.

5.2 DESENVOLVIMENTO DA VEGETAÇÃO DAS UNIDADES PILOTO

Apesar dos baixos teores de carbono e matéria orgânica no solo (Tabela 5.1), observou-se o crescimento e o desenvolvimento da vegetação das unidades piloto de telhado verde de grama e hortaliças, durante todo o período experimental (Figura 5.1).

O telhado verde de hortaliças, exigiu uma manutenção mais frequente do que o de grama, devido à sensibilidade das mudas quanto às intempéries, o que resultou no replantio de 20 mudas que morreram ao longo do experimento. Além do replantio, as hortaliças também foram acometidas por pragas que foram retiradas manualmente.



Figura 5.1: Crescimento da vegetação das unidades piloto ao longo do experimento

Os aspectos de tempo de crescimento da vegetação, e a produção de cada hortaliça colhida não foram mensurados, no entanto os registros de desenvolvimento das plantas apresentados nas fotos (Figura 5.1) mostram que foi possível produzir alimentos em pequena escala nas unidades piloto, evidenciando o potencial de transformação das áreas inertes de centro urbanos em hortas urbanas.

5.3 DADOS PLUVIOMÉTRICOS

O registro dos dados de chuva pelo pluviógrafo foi obtido no período compreendido do dia 05 de março à 01 de junho de 2016.

Em um raio de 1 km da área de estudo, na Estação de Tratamento de Esgoto Norte (ETE Norte), há uma estação pluviométrica operada pela Companhia de Saneamento Ambiental de Brasília (Caesb) desde 1971, a qual forneceu dados para uma comparação entre os dados coletados pelo pluviógrafo instalado e a série histórica de chuvas na região.

A Tabela 5.2 apresenta os dados de precipitação acumulada registrados pelo pluviógrafo nos meses de março, abril e maio de 2016, e as médias das precipitações acumuladas dos mesmos meses entre os anos de 1971 e 2015, registrados pela Caesb.

Tabela 5.2: Média das precipitações acumuladas entre 1971 e 2015 (mm), registradas pela Caesb, e precipitação acumulada (mm) registrada pelo pluviógrafo instalado na área de estudo, nos meses de março, abril e maio.

	Março	Abril	Maio
ETE Norte	191,81	102,74	26,83
Pluviógrafo instalado	74,68	3,56	44,70

Pelos resultados apresentados na Tabela 5.2 observou-se que o volume de chuva nos meses de março e abril de 2016 (74,68 mm e 3,56 mm, respectivamente) foram inferiores as médias obtidas com a série histórica para os mesmos meses (191,81 mm para abril e 102,74 mm para maio). O mês de maio apresentou também um comportamento distinto da média histórica no ano de 2016, porém ao contrário dos meses anteriores, 66,6% maior (44,70 mm) que a média de precipitação acumulada da série histórica (26,83 mm).

As diferenças entre as precipitações registradas pelo pluviógrafo em relação à média da série histórica, evidenciam que no período experimental de março a maio de 2016 houve um volume de chuva menor que a precipitação histórica registrada para a região.

Os dados coletados pelo pluviógrafo permitiram ainda uma avaliação do volume de chuva registrado diariamente durante todo o período de monitoramento (Figura 5.2).

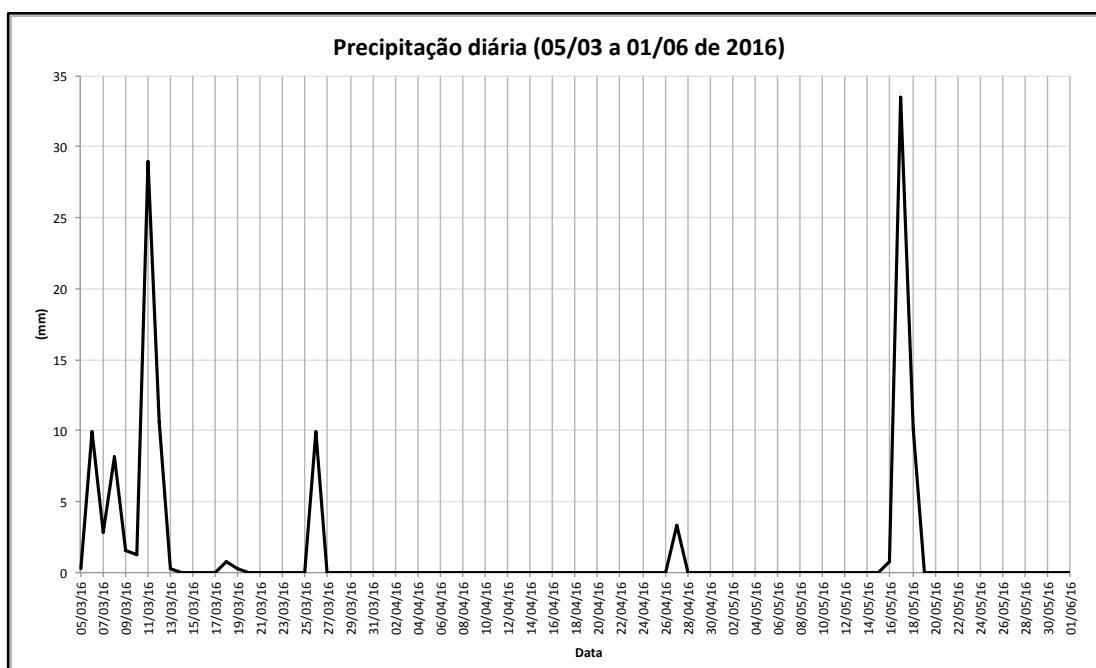


Figura 5.2: Registro de precipitações diárias no período entre os dias 05 de março e 01 de junho de 2016 na área das instalações piloto.

Observam-se poucos eventos de chuva durante o período do estudo (Figura 5.2) No período foram contabilizados 16 dias com registro de chuvas, sendo dois desses com intensidades mais altas em comparação aos demais, no dia 11/03 com 28,95 mm e 17/05 com 33,53 mm. Os valores médios de precipitação máxima registrados pela estação pluviométrica da ETE Norte para os meses de abril, maio e junho entre 1971 e 2015 foram respectivamente 44,86, 36,80 e 13,96 mm. Assim como para os dados de precipitação acumulada, os valores de precipitação máxima nos meses de março e abril de 2016 foram inferiores as médias das séries históricas. De maneira análoga a precipitação acumulada, o mês de maio apresentou uma média das precipitações máximas maior no ano de 2016 em comparação a média dos anos anteriores.

Os resultados obtidos pelo pluviógrafo e a comparação desses com a série histórica da região mostram que os meses de março e abril de 2016 tiveram um volume de chuva registrado inferior à média dos anos anteriores, bem como suas respectivas precipitações máximas. O mês de maio apresentou um maior volume precipitado e um valor de chuva máxima superiores aos obtidos com a série histórica.

5.4 ANÁLISE QUANTITATIVA DE CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA NAS UNIDADES PILOTO DE TELHADO VERDE

5.4.1 Período chuvoso sem controle da umidade do solo

O monitoramento do volume drenado das unidades piloto em função dos eventos de chuva iniciou-se no dia 01 de fevereiro e durou até o dia 31 de março. Durante o mês de fevereiro foram registrados 3 dias (12, 17 e 29) em que os galões acoplados ao sistema de drenagem das unidades piloto continham volume de água, enquanto que no mês de março foram registrados 5 dias (05, 10, 13, 19 e 27). A Figura 5.3 apresenta os volumes escoados por cada piloto nos dias citados, o volume precipitado acumulado entre as datas de registro, bem como os volumes registrados em cada galão associado as pilotos.

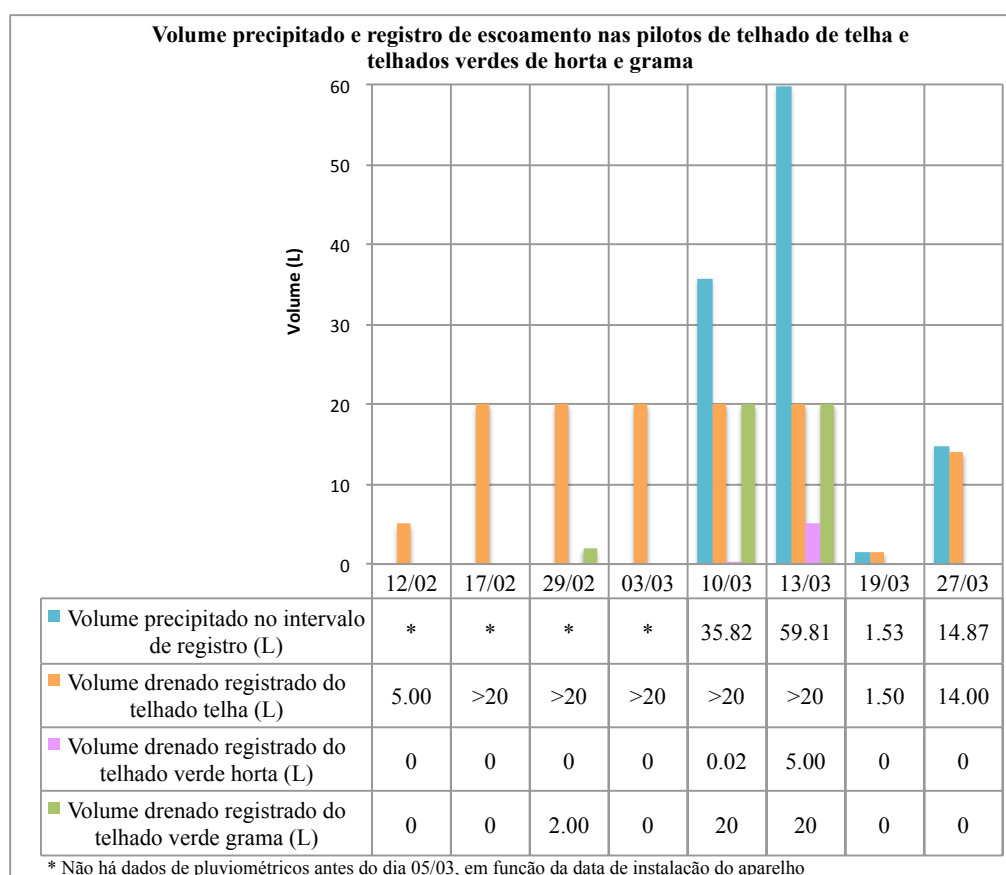


Figura 5.3: Volumes precipitado e registrado nos galões associados as três pilotos ao longo do período chuvoso

Com os dados de precipitação acumulada, e dos volumes registrados nos galões das unidades piloto de telhado verde apresentados na Figura 5.3, foram calculadas as porcentagens de água retidas pelas pilotos de telhado verde em função do volume precipitado (Tabela 5.3).

Tabela 5.3: Porcentagem de retenção calculadas durante o período chuvoso nas unidades piloto de telhado verde de grama e hortaliça.

Data do registro de drenagem	Volume precipitado até a data do registro (precipitação acumulada x área da piloto) (L)	Porcentagem do volume retido pela piloto de telhado verde de hortaliça	Porcentagem do volume retido pela piloto de telhado verde de grama
10/03	35,82	99,94%	44,17%
13/03	59,81	91,64%	< 66,56%
19/03	1,53	100%	100%
27/03	14,67	100%	100%

* Como o pluviômetro foi instalado no dia 5 de março, não há registro de precipitação antes dessa data, impossibilitando o cálculo das porcentagens de volume retidas pelas unidades piloto antes dessa data. Volumes escoados superiores ao limite do galão (20L) não permitiram um cálculo preciso da retenção do volume precipitado pelas pilotos.

Observou-se que em todos os dias de registro de eventos de chuva houve a drenagem de água na unidade piloto de telha convencional, enquanto que os telhados verdes de hortaliças e de grama contaram com apenas dois e três registros de drenagem de água, respectivamente.

Os volumes registrados nos galões associados à piloto do telhado verde de hortaliças foram equivalentes a retenções de 91,64% a 100% do volume precipitado acumulado, enquanto que no telhado verde de grama, a retenção de volume variou entre 44,17% e 100%.

A unidade piloto de telhado verde de hortaliças só apresentou registro de escoamento associados aos maiores volumes acumulados de precipitação (35,82 e 59,81 L), com capacidades de retenção mais altas (respectivamente 99,94% e 91,64%) que aquelas calculadas para a unidade piloto de telhado verde com grama (44,17% e <66,56%).

A diferença entre as porcentagens de retenção entre as pilotos contendo cobertura de hortaliça e grama pode estar associada a umidade do solo, a qual depende, dentre outros fatores, do nível de cobertura vegetal das pilotos (Tassi *et al.*, 2013 e Loyola *et al.*, 2015).

Os valores de retenção de água obtidos no telhado verde de grama foram superiores aos registrados por simulações descritas por Cambraia Filho *et al.* (2015) em telhados verde contendo grama esmeralda, que resultaram em reduções médias de 28,8% do volume total precipitado, porém inferiores aos valores obtidos por Tassi *et al.* (2013) com telhados verdes modulares, que registraram reduções médias de 62% do volume escoado.

Os resultados de retenção obtidos na unidade piloto de telhado verde de hortaliças apresentou valores próximos aos obtidos por Silva *et al.* (2015) em simulações de culturas espaçadas de coroa de frade (98% de retenção do volume precipitado) e babosa (77% de retenção do volume precipitado).

A variação da capacidade de retenção em telhados verdes foi associada por Tassi *et al.* (2013) e Loiola *et al.* (2015) à presença de água no substrato e consequente umidade inicial do solo. Em função da metodologia proposta não ter incluído a medição da umidade do solo antes dos eventos de chuva, e ainda, dos registros de volume drenado serem uma acumulação de eventos que podem ter iniciado com umidades de solo distintas, não é possível constatar que as variações de umidade do substrato tenham causado as distinções entre os resultados obtidos daqueles encontrados na literatura.

5.4.2 Ensaio da capacidade de retenção com medida da umidade do solo e entrada controlada de água

Foram feitos seis ensaios para avaliação da capacidade de retenção de água nas unidades piloto de telhado verde, entre os dias 12 e 24 de maio de 2016. Os ensaios 1, 3 e 5 referem-se à piloto de telhado verde de hortaliça e já os ensaios 2, 4 e 6, foram feitos na unidade piloto contendo camada de grama. Todos os ensaios contaram com medição de teor de umidade do solo antes do seu início.

O ensaio 1 foi realizado após um período de 6 semanas predominantemente sem chuvas, com exceção de um evento de precipitação duas semanas antes dos ensaios de 3,02 mm/dia. A umidade do solo antes dos ensaios na unidade piloto de hortaliças foi de 8,02%. O baixo valor de umidade refere-se as baixas precipitações registradas no período que antecedeu a coleta de solo para análise de umidade. Segundo Silva *et al.* (2015), valores baixos de umidade podem contribuir com uma maior eficiência dos telhados verdes em relação à capacidade de retenção já que é necessário um maior volume de água para atingir sua capacidade de saturação. Essa tendência foi de fato observada, uma vez que no ensaio 1 foi registrado o início de drenagem no galão associado ao telhado verde de grama mais tardio em comparação aos ensaios 3 e 5, após uma entrada de 40 L de água (25 minutos de experimento) seguindo a metodologia proposta.

Durante o ensaio 1 (telhado com hortaliça) foi observado que, com a entrada contínua de água, após a saturação do solo, parte do escoamento que deveria ser coletado pelo sistema de drenagem, escoava para fora da calha, de forma que a inferência dos volumes drenados da piloto nesse ensaio foi feita de maneira imprecisa por não contabilizar o volume de água que não estava sendo drenado para o sistema de coleta. Após essa constatação, o sistema de drenagem das unidades pilotos, tanto de hortaliças quanto de grama, foram revistos e corrigidos para realização dos ensaios posteriores. Os ensaios 3 e 5 que tiveram seus volumes drenados medidos de forma correta, são apresentados na Figura 5.4, onde mostra-se a umidade inicial do solo, o início da drenagem nos galões e o comportamento do escoamento em cada um dos ensaios.

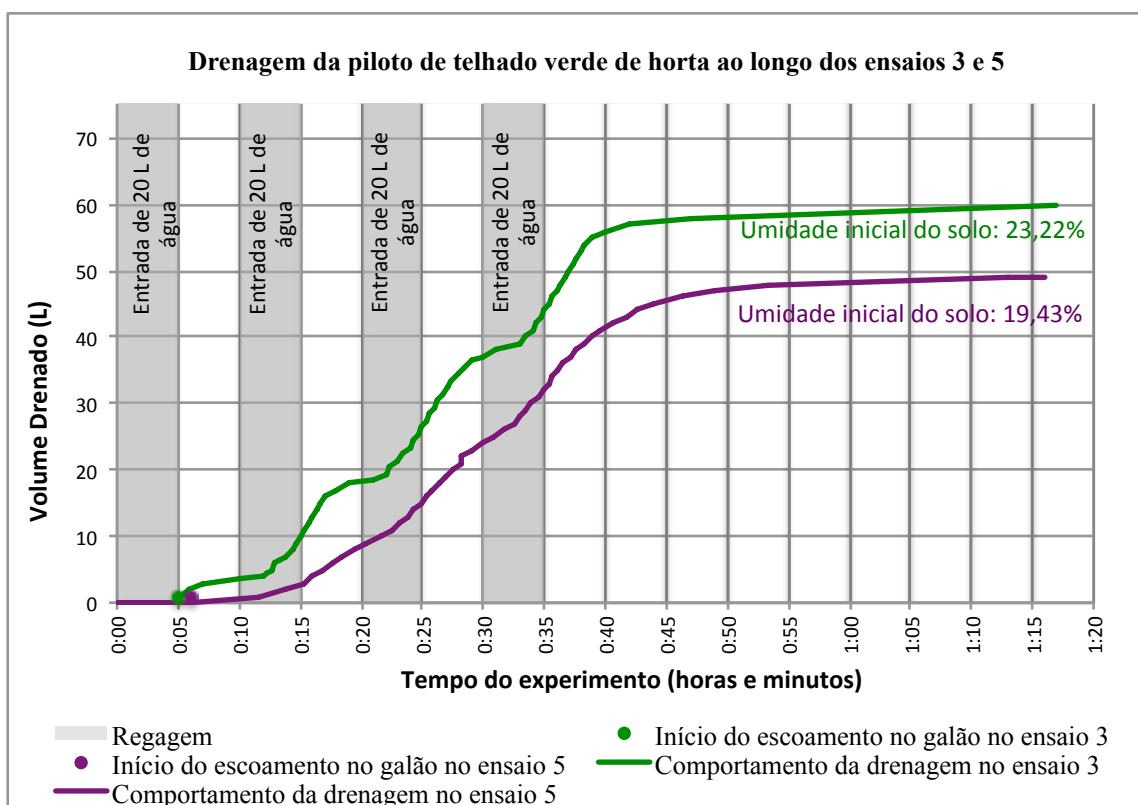


Figura 5.4: Comportamento do escoamento da água no galão associado a unidade piloto de telhado verde de hortaliça ao longo do ensaio 3 e 5.

O ensaio 3 foi realizado na piloto de telhado verde com hortaliças, na data 17/05/16. Nesse dia foi registrado um evento de precipitação uma hora antes do ensaio (33,53 mm/dia), e a umidade do solo atingiu 23,22%. A drenagem nessa condição de umidade inicial do solo teve início após 5 minutos do início do experimento, ao final da entrada de 20L de água. Assim, observa-se que, de fato, com a umidade do solo superior no ensaio 3 (23,22%) em relação a observada no ensaio 1 (8,02%), o escoamento teve início após a entrada de

metade do volume de água necessário no ensaio com solo mais seco, evidenciando uma redução da capacidade de retenção de telhados verdes sobre condições mais úmidas do seu substrato.

O ensaio 5 foi realizado na piloto de telhado verde de hortaliças no dia 24/05/2016, após 5 dias de estiagem. Nessa condição o solo apresentou umidade de 19,43%, um pouco abaixo do registrado no ensaio 3 (23,22%). No ensaio 5, o início do escoamento no galão foi registrado aos 6 minutos e 10 segundos de experimento, após uma entrada de 20 L de água. Observa-se que o escoamento nos ensaios 3 e 5 iniciaram-se após a entrada do mesmo volume de água (20 L), porém o ensaio 5 (com umidade menor de 19,43%) conseguiu retardar o início do escoamento em 1 minuto e 10 segundos em comparação a condição de umidade do ensaio 3 (23,22%). Na Figura 5.4 está pode-se ainda evidenciar que o volume final drenado do ensaio com umidade do solo inferior foi menor (49,75 L) que o ensaio com solo mais úmido (60 L), fortalecendo os estudos de Tassi *et al* (2013), sobre a relação inversa entre a eficiência de telhados verde na retenção de água e a umidade do substrato.

Os ensaios 2, 4 e 6 foram feitos na unidade piloto de telhado verde de grama. O ensaio 2 foi realizado após um período de 6 semanas predominantemente sem chuvas, com exceção de um evento de precipitação duas semanas antes dos ensaios de 3,02 mm/dia. A umidade do solo nessas condições foi de 4,70%, e a drenagem no ensaio iniciou-se após a entrada de 40 L de água (minuto 25 do experimento). Durante o ensaio, foi constatado o mesmo problema construtivo descrito em relação a piloto de telhado verde de hortaliças, a qual não permitiu uma medição correta dos volumes drenados. Após a correção do sistema de drenagem da piloto, foram feitos os ensaios 4 e 6 que são apresentados na Figura 5.5 quanto a umidade inicial do solo, o início da drenagem nos galões e o comportamento do escoamento em cada um dos ensaios.

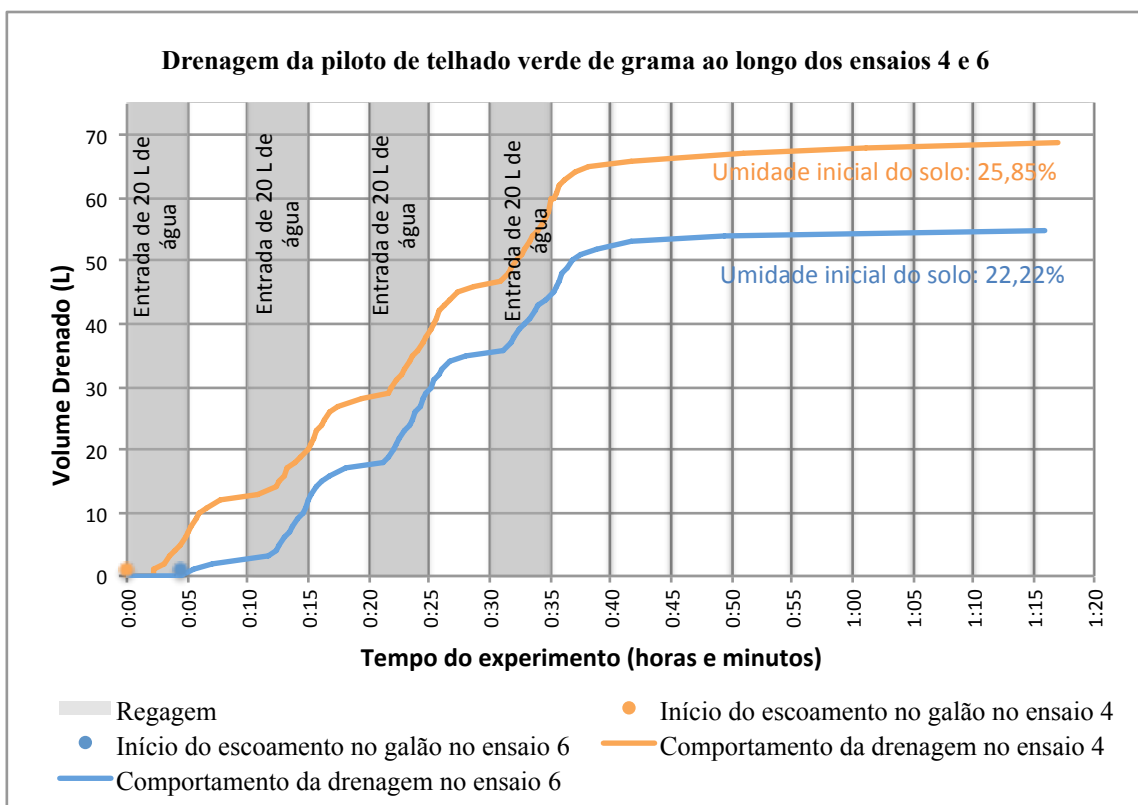


Figura 5.5: Comportamento do escoamento da água no galão associado a unidade piloto de telhado verde de grama ao longo do ensaio 4 e 6.

O ensaio 4 apresentou umidade inicial do solo de 25,85%, início do escoamento concomitante ao início do ensaio (minuto zero) e um volume final drenado de 69 L, dos 80 L adicionados ao telhado segundo a metodologia descrita. O ensaio 6, com umidade inicial do solo (22,22%) inferior ao ensaio 4 (25,85%), teve drenagem observada no galão aos 4:21 minutos, após a entrada de aproximadamente 17,4 L de água. Esses resultados estão em conformidade com o esperado, uma vez que o ensaio com umidade de solo mais baixa esteve associado a uma maior eficiência na retenção de água pelo telhado, com início mais tardio e volumes menores em comparação ao ensaio com umidade de solo mais alta, e dialoga com os resultados obtidos por Pinto *et al.* (2015) constatarem uma redução na eficiência de retenção de telhados verdes sob condições de níveis de umidade do solo maiores.

O tempo experimental referente ao início das drenagens dos ensaios, os volumes finais drenados nos galões, bem como a porcentagem de água retida nas unidades piloto são apresentadas na Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Tempo experimental referente ao início da drenagem nas unidades piloto de hortaliça e grama, volumes finais drenados e porcentagem de água retida ao final dos ensaios.

Telhado com hortaliças				
	Umidade do solo (%)	Início do escoamento (min:seg)	Volume final drenado (L)	Porcentagem de água retida
Ensaio 1	8,02	25:00	-	-
Ensaio 3	23,22	00:00	60	25%
Ensaio 5	19,43	06:10	49,75	37,8%
Média			54,9	31,4%
Telhado com grama				
	Umidade do solo (%)	Início do escoamento (min:seg)	Volume final drenado (L)	Porcentagem de água retida
Ensaio 2	4,7	25:00	-	-
Ensaio 4	25,85	05:00	69	13,7%
Ensaio 6	22,22	04:21	55	31,2%
Média			62,0	29,3%

A Tabela 5.4 apresenta porcentagens de retenção maiores associadas as umidades de solo menores. Na unidade piloto de hortaliça, a retenção foi 12,8% maior no ensaio com umidade de 19,43% em comparação ao ensaio com umidade de 23,22%. No caso da unidade piloto de grama, a porcentagem de retenção foi 31,2% no ensaio com umidade de 22,22% e 13,7% no ensaio com umidade de 25,85%. Em função da quantidade de água necessária para a saturação do solo, os ensaios com umidades mais baixas (1 e 2), tiveram o início do escoamento após a segunda entrada de água (minuto 20 do experimento, 40 L de água adicionada), enquanto que os demais ensaios tiveram drenagens observadas após a adição de 20 L.

As porcentagens de retenção de água obtidas com os ensaios (Tabela 5.4) foram inferiores aquelas levantadas pela pesquisa bibliográfica de Ohnuma Junior *et al.* (2015) em mais de 170 artigos publicados entre 2001 e 2007, em relação a profundidade do substrato. Para telhados verde com camada de 15 cm de substrato, foi constatado uma retenção de 75%, e para telhados com 10 cm de substrato, uma retenção de 45% (Junior *et al.*, 2015). No caso do presente estudo, os ensaios nas unidades piloto mostraram uma retenção média de 31,4% (hortaliça) e 29,3% (grama) para substratos com 25 cm. O mesmo autor defende a

hipótese de que a capacidade de retenção dos telhados verdes apresenta uma maior influência dos parâmetros físicos (como umidade, profundidade e composição físico-química do substrato) do que dos elementos meteorológicos. Sob essa ótica justifica-se a diferença entre as capacidades de retenção médias dos telhados de grama e hortaliças, no entanto entende-se que a umidade do solo é um parâmetro físico que está diretamente associado a eventos meteorológicos, como a chuva.

Os dados de retenção de água obtidos com o ensaio (hortaliças: 25% e 37,8%; e grama: 13,7% e 31,2%) foram menores que aqueles calculados durante o período chuvoso (fevereiro e março) (hortaliças 99,94% a 100% e grama 44,17% a 100%). A redução da capacidade de retenção observada nos ensaios pode estar associado ao fenômeno de encrostamento superficial descrito por Brandão *et al.* (2006) como a compactação da camada superficial do solo em função do impacto das gotas de água, produzindo uma camada fina de solo expressivamente densa, que altera as propriedades físicas do solo. Como o ensaio proposto levou o solo a sua capacidade de saturação, as condições de infiltração deste podem ter sido influenciadas pela formação dessa camada, uma vez que um alto volume de água foi introduzido nas pilotos em um curto intervalo de tempo, diferente dos eventos de chuva observados.

5.5 ANÁLISE DE QUALIDADE DA ÁGUA

Considerando que as unidades piloto foram instaladas ao final do período chuvoso, e que não houve muitos eventos de chuva intensos, conforme apresentado no item 5.3, foi registrada apenas uma análise da qualidade da água drenada para cada um dos telhados. Cabe destacar ainda que durante a segunda etapa correspondente aos ensaios com entrada de volume controlado (item 5.4.2), não foi coletada a água drenada dos telhados verdes para análise da qualidade, visto que utilizou-se água do lago Paranoá que tem parâmetros físicos, químicos e biológicos distintos da água de chuva.

Os dados referentes ao telhado convencional e ao telhado verde com grama foram coletados e analisados nos dias 09/03/16 e 10/03/16 respectivamente. O telhado verde com hortaliças teve água suficiente para realizar a análise apenas no dia 16/03/16.

A Tabela 5.5 traz os níveis de coliformes totais, *Echerichia coli*, amônia, nitrato, fósforo total, pH, condutividade, turbidez e oxigênio dissolvido, obtidos na análise da única

amostra coletada para cada um dos telhados. Assim como o presente estudo, a EPA (2014) monitorou a qualidade de água drenada de telhados verdes e convencionais (controle), dados estes também apresentados na Tabela 5.5.

Tabela 5.5: Análise de qualidade da água amostrada nas 3 unidades piloto e dados apresentados para monitoramento da EPA.

	Telhado convencional	Telhado Grama	Telhado Hortaliças	EPA (telhado verde)	EPA (telhado controle)
pH	8,36	7,10	7,24	7,28	6,27
Amônia (mg/L N)	0,028	2,90	0,20	0,86	1,47
Nitrato (mg/L N)	0,10	5,50	30,00	0,27	0,87
Fósforo Total (mg/L)	0,135	0,12	0,225	0,47	0,25
Coliformes totais (NMP/100mL)	98,8	1986,3	200	-	-
E. coli (NMP/100mL)	0	0	0	-	-
Condutividade (uS/cm)	135,5	5977,5	1128	127,67	57,11
Turbidez (NTU)	0,6	2,7	3,0	2,47	1,47
OD (mg/L)	60,75%	79,70%	91,50%	-	-
Temperatura (°C)	26,35	25,75	26,1	-	-
Pot. de Oxi-redução	99,3	211,7	12,3	-	-

* (-) parâmetros não analisados

Primeiramente, cabe destacar que os estudos elaborados pela EPA (2014) foram desenvolvidos em Nova Iorque, Estados Unidos, uma cidade com níveis de urbanização e emissão de poluentes distintas de Brasília, o que configura uma precipitação com composição diferente da que o presente estudo esteve submetido. Além disso, o design estrutural de ambos os telhados diferem. Dessa forma, a comparação aqui estabelecida visa avaliar a relação entre telhados convencionais e telhados verdes, e não entre os valores numéricos obtidos pelos dois estudos.

Comparando-se os resultados das unidades piloto de grama com a de telhado convencional, obteve-se um aumento dos parâmetro de amônia (2,9 e 0,028 mg/L), nitrato (5,5 e 0,1

mg/L), coliformes totais (1986,3 e 98,8 NMP/100mL), condutividade (5977,5 e 135,5 uS/cm), turbidez (2,7 e 0,6 NTU) e OD (79,70 e 60,75%). Já em relação à unidade piloto de hortaliças, houve aumento dos mesmos parâmetros descritos, além de fósforo total (0,225 e 0,135 mg/L), em relação ao telhado convencional. Cabe destacar que não foi constatada presença de coliformes termotolerantes, *Echerichia coli*, em nenhuma das amostras das unidades piloto.

O aumento da carga de nutrientes na água drenada das pilotos pode ser resultado do baixo teor de matéria orgânica apresentado no item 5.1, que contribui para a lixiviação do solo. O processo de perda de adubo ao longo da profundidade do solo está intimamente ligado ao teor de matéria orgânica que proporciona uma melhor retenção dos nutrientes no solo, e consequentemente o melhor aproveitamento do adubo pelas plantas (Silva, 1985). Fatores como lixiviação, erosão hídrica e imobilização dos nutrientes, são apontados pelo mesmo autor como causa da perda (em razão de 25% a 66%) de nutrientes disponíveis para a planta. Assim, tal fato pode justificar as concentrações mais elevadas de nutrientes na água drenada das unidades piloto de cobertura verde do que da convencional.

De acordo com EPA (2014), o pH da drenagem dos telhados verdes são significativamente maiores do que os telhados controles (convencionais), sendo uma média de 7,28 para os telhados verdes, 6,27 para os controles e pH 4,82 referente à chuva. O que evidencia a neutralização de chuvas ácidas a partir da utilização de telhados verdes. No geral, o estudo da EPA (2014), encontrou concentrações de nitrato e amônia para os telhados verdes relativamente menores do que as dos telhados controle, e fósforo total em concentração maior nos telhados verdes do que nos de controle. A diminuição dos teores de amônia não tiveram relação com o aumento na concentração de nitrato, o que indicaria o processo de nitrificação.

A comparação entre os dois estudos mostra que a qualidade da água drenada dos telhados depende da composição qualitativa das chuvas, da adubação adotada para o substrato, bem como de todo o design estrutural do telhado verde. Nesse sentido, observa-se que os telhados verdes podem alterar a composição da água da chuva, no entanto essa variação não segue um padrão, uma vez que depende de diferentes fatores, como apresentado anteriormente.

5.6 PROJEÇÃO DE INSTALAÇÃO DE TELHADOS VERDES EM ÁREA RESIDENCIAL URBANA

A projeção de instalação de telhados verdes em áreas urbanas residências, foi feita na quadra 402 Norte de Brasília. Foram calculadas as áreas de telhado dos 17 blocos residenciais da quadra, para posterior estimativa do volume de água retido em eventos de chuva com intensidade de 189,43 mm/h, obtido pela curva IDF do DF para chuvas de projeto de 5 anos de retorno e 5 minutos de duração, também utilizada como parâmetro dos ensaios realizados para avaliação da capacidade de retenção de água pelos telhados verdes (item 5.4.2).

Considerando a capacidade de retenção média (29,3%) obtida com a piloto de telhados verde de grama (13,7% e 31,2%), refletindo a menor capacidade de retenção entre as coberturas vegetais (grama e hortaliça) avaliadas no estudo, foram estimados os volumes retidos e drenados em dois casos: instalação de cobertura verde em toda a área de telhado dos blocos residenciais, e instalação de telhados verdes em 65% da área de telhado dos blocos residenciais. Essa porcentagem de 65% refere-se a área mínima de instalação de telhados verdes segundo o Projeto de Lei nº 1.703/2011, ainda em tramitação no Congresso Nacional. Os valores obtidos dessas estimativas são apresentados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6: Valores de área de cobertura verde e volume precipitado usados para projeção da instalação de telhados verdes em área urbana e volumes retidos calculados com Equação (4.2)

	100% da área dos telhados com cobertura verde	65% da área dos telhados com cobertura verde
Área de telhado verde instalado (m ²)	16.289,00	10.587,85
Volume precipitado (m ³)	257,14	167,14
Volume retido pelo telhado verde (m ³)	75,34	48,97
Volume de água drenado do telhado verde (m ³)	181,79	118,17
Volume de água drenado de área sem telhado verde (m ³)	0	90,00
Total de água escoada do telhado (telhado verde + área sem telhado verde)	181,79	208,16

Os resultados da projeção apontam para uma redução do volume da água escoada de telhados de 75,34 m³ no caso de instalação de telhado verde em todas as coberturas dos prédios residenciais da quadra, e de 48,97 m³ para a instalação de telhados verdes em 65% da cobertura total, em apenas um evento de chuva. Essa retenção equivale a um volume de

4,62 L de água retida por unidade de área (m^2) de telhado verde implantado. Por se tratar de uma grande área de telhado verde instalada (16.289 m^2 e $10.587,85 \text{ m}^2$), os volumes retidos são expressivamente maiores que aqueles apontados pela projeção feita por Pinto *et al.* (2015), que aponta uma retenção de pouco menos que 6m^3 em dois meses, com telhado verde construído em uma casa com 70m^2 de cobertura.

Os volumes totais retidos nos dois casos ($75,34 \text{ m}^3$ para 100% de instalação de telhados verdes e $48,97 \text{ m}^3$ para 65%), foram estimados para uma chuva intensa de $189,43\text{mm/h}$, porém vale ressaltar que o Plano Diretor de Drenagem do Distrito Federal (2009) aponta para alagamentos pontuais na cidade após chuvas com intensidades a partir de 30 mm/h . Em chuvas menos intensas espera-se uma eficiência ainda melhor dessas estruturas, em função da possibilidade de não saturação do solo nessas condições. Dessa forma, a projeção indica que telhados verdes, podem contribuir para a alteração dos processos hidrológicos em meio urbano, resultando em possíveis atenuações de alagamentos. No entanto, vale ressaltar que essa tecnologia não substitui outras medidas de controle de enchentes não convencionais, bem como a conservação de áreas verdes em áreas urbanizadas.

Vale destacar ainda que além da redução do volume de água escoado para as redes de drenagem urbana, os telhados verdes têm a característica de retenção do escoamento (armazenamento temporário e liberação lenta), atrasando os picos de cheia que se dirigem à rede de drenagem (Castro, 2011), também comprovado pela redução da permeabilidade do solo, observados nos ensaios com as unidades piloto (item 5.4.2).

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A construção e o monitoramento das unidades piloto possibilitaram a avaliação do comportamento dos três tipos de telhado tanto em relação a eventos naturais de precipitação, quanto em função de uma análise exploratória de retenção de água.

Os resultados de observação dos volumes drenados pelas unidades pilotos após eventos de chuva nos meses de fevereiro e março de 2016 resultaram em retenções da água de chuva entre 91,64% e 100% na unidade piloto de telhado verde de hortaliças e de 44,17% a 100% na unidade piloto de telhado verde de grama. Esse resultado indica a possibilidade de redução de água drenada em períodos chuvosos.

Os resultados de drenagem observados ao longo do experimento durante o período chuvoso (retenção de 44,17 a 100% grama e retenção de 99,94 a 100% hortaliças), se assemelham aos resultados encontrados na literatura (retenção de 28% a 98%). As variações de retenção podem estar associadas às diferenças na metodologia adotada, que considerou amostras compostas de água drenada oriunda de diversos eventos de chuva e iniciados com níveis distintos de umidade do solo.

Frente às limitações do monitoramento de eventos reais de chuva, os ensaios propostos de capacidade de retenção de água possibilitaram uma avaliação mais precisa das variáveis de umidade do solo e volume de água que entrou e saiu das unidades pilotos, além do registro do tempo de início das drenagens. Nesse contexto, foi verificada a relação entre aumento de umidade e redução da capacidade de retenção de água dos telhados verdes. A retenção de volume de água calculada para a unidade piloto com grama foi de 13,7% e 31,2% (para umidades do solo de 25,85% e 22,22%, respectivamente) e com hortaliças foi de 25% e 37,8% (para umidades do solo de 23,22% e 19,43%, respectivamente).

Os resultados obtidos com os ensaios nas unidades piloto permitiram ainda realizar a projeção do volume de água retido por telhados verdes em uma área residencial urbana em um evento de chuva de 189,43 mm/h em 5 minutos, com volume retido total de 75,34 m³ para 100% de instalação de telhados verdes e 48,97 m³ para instalação de telhado verde em 65% da área de cobertura disponível. Os resultados encontrados indicam a possibilidade de redução do escoamento superficial urbano, o que poderia permitir um maior controle dos alagamentos, em particular para Brasília, onde chuvas com intensidades reduzidas

(30mm/h) provocam alagamentos pontuais.

Em função da menor ocorrência e intensidade dos eventos pluviométricos no período chuvoso no início de 2016 (precipitação acumulada em abril de 3,56 mm), em comparação aos anos anteriores (precipitação acumulada média para o mês de abril de 102,74 mm), a análise sobre a qualidade da água drenada das unidades piloto foi comprometida, com obtenção de apenas uma amostra de água para cada telhado piloto. Da única análise feita para cada unidade piloto, pode-se destacar a observação de maiores concentrações de fósforo (0,12 e 0,225 mg/L) e nitrato (5,5 e 30 mg/L) na água drenada dos telhados verdes com grama e com hortaliça, respectivamente, em comparação com o telhado de telha (0,135 mg P/L e 0,1 mg N-NO₃/L), o que pode ser resultado de uma possível lixiviação dos nutrientes disponíveis no solo.

Vale ressaltar que os aspectos quantitativos e qualitativos da água drenada de telhados verdes estão diretamente ligados ao local onde estes estão instalados, como foram construídos, o tipo de adubação e vegetação adotados, bem como das intensidades, durações e composição dos eventos de chuva a que estão submetidos.

Considerando que a pesquisa sobre telhados verdes é ainda recente no Brasil, sugere-se o aprofundamento da experimentação com unidades piloto com diferentes espécies vegetais, em particular espécies fixadoras de nutrientes, como leguminosas, que possam assim influenciar positivamente na qualidade de água drenada do telhado, e ainda reduzir a necessidade de insumos como fertilizantes e adubação química das culturas.

Recomenda-se ainda o aproveitamento das unidades pilotos já construídas para a continuidade de estudos sobre telhados verdes por períodos mais longos, observando assim seu comportamento por um maior número de ciclos hidrológicos. Além disso, considera-se importante uma avaliação da drenagem das pilotos a cada evento de chuva, com medição da umidade do solo, e da taxa de evapotranspiração da vegetação para uma estimativa mais precisa do comportamento dos telhados verdes em casos reais.

7 BIBLIOGRAFIA

- American Public Health Association. (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater. 20^aed. Washington, APHA/WEF/AWWA.
- ArchDaily Brasil. (2014). *One Central Park / Ateliers Jean Nouvel*. Acesso: 26 novembro 2015, disponível em: < http://www.archdaily.com.br/br/758761/one-central-park-ateliers-jean-nouvel_ >
- Argosfoto. (2015). Palácio Capanema/Gustavo Capanema Palace. Acesso: 28 de Novembro de 2015, disponível em: < <http://argosfoto.photoshelter.com/image/I00001AdBAuabXhM> >
- Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro. (2012). *Lei N° 6.349*, de 30 de novembro de 2012. Dispõe sobre a obrigatoriedade da instalação do “telhado verde” nos locais que especifica e dá outras providências.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (1989). NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (1986). NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro.
- Baldessar, S.M.N. (2012). *Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.
- Banting, D., Doshi H, Li J. e Missios, P. (2005). *Report on the Environmental Benefits and Costs of Green Roof Technology for the City of Toronto*. Ryerson University, Toronto.
- Baptista, M.B., Nascimento, N.O. e Barraud, S. (2005). *Técnicas compensatórias em drenagem urbana*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, RS.
- Beatrice, C.C. (2011). *Avaliação do Potencial de Uso de Três Espécies Vegetais como Cobertura Leve de Telhados em Edificações*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.
- Bezerra, I.M.T. e Curi, R.C. (2009) . Telhados Verdes Como Alternativa Para O Aproveitamento Da Água De Chuva. *XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. 15p.
- Brandão, V. S., Cecílio, R. A., Pruski, F. F. e Silva, D. D. (2006). *Infiltração da água no solo*. Universidade Federal de Viçosa, 3 ed. Viçosa, MG, 120p.
- Brantz, D. e Dümpelmann, S. (2011). *Greening the city: Urban Landscapes in the Twentieth Century* . University of Virginia Press, Charlottesville, USA.

- Brasil. (2011). *Projeto de Lei 1703/2011*. Dispõe sobre a instalação do denominado “Telhado Verde” e dá outras providências.
- Brenneisen, S. (2006). Space for Urban Wildlife: Designing Green Roofs as Habitats in Switzerland. *Urban Habitats*, 4(1), 27-36.
- Cambraia Filho, D.J., Silva, R.L., Silva, E.R., Barbosa, G.R., Silva, D.O. e Martins, P.E.S. (2015). Controle do escoamento pluvial com o uso do telhado verde e cerâmico. *XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 8p.
- Cardoso, M. R. D. (2014). Classificação Climática de Köppen-Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. *ACTA Geográfica*, Boa Vista, 8(16), 40-55.
- Castro, A. S. (2011). Uso de pavimentos permeáveis e coberturas verdes no controle quali-quantitativo do escoamento superficial urbano. Dissertação de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, 142p.
- Calil, M. da S., Bernardi, E. C. S., Righes, A. A. (2014). Impacto da utilização de telhados verdes no escoamento superficial do arroio esperança em Santa Maria-RS. *Disciplinarum Scientia. Série: Naturais e Tecnológicas*, Santa Maria, 15 (1), 1-16.
- Central Park Sydney. (2015). *A sustainable habitat*. Acesso: 25 novembro 2015, disponível em: < <http://www.centralparksydney.com/explore/a-sustainable-habitat> >
- City of Chicago. (2015). Chicago Green Roofs. Acesso: 30 novembro 2015, disponível em <http://www.cityofchicago.org/city/en/depts/dcd/supp_info/chicago_green_roofs.html>.
- CMHC. (2006). *Green roofs: a resource manual for municipal policy makers*. Canadian Mortgage and Housing Corporation, Canada.
- Currie, B. e Bass, B. (2008). Estimates of air pollution mitigation with green plants and green roofs using the UFORE model. *Urban Ecosystems*, 11(4), 409-422.
- Deelstra, T e Girardet, H. (2015). *Urban Agriculture and Sustainable Cities*. Thematic Paper 2. 43-65.
- EFB. (2015). European Federation of Green Roof Associations - EFB. Acesso: 2 novembro 2015, disponível em: <<http://www.efb-greenroof.eu>>.
- EMATER. (1987). Recomendações para o uso de corretivos, matéria orgânica e fertilizantes para hortaliças no Distrito Federal, Brasília, 50p.
- EPA. (2014). Evaluation of Green Roof Water Quantity and Quality Performance in an Urban Climate. Columbia University, New York, NY
- Eumorfopoulou, E. e Aravantinos, A. (1998). The contribution of a planted roof to the thermal protection of buildings in Greece, *Energy and Buildings*, 29-36.
- Ferreira, C.A., e Moruzzi, R.B. (2009). Considerações Sobre a Aplicação do Telhado Verde Para Captação de Água de Chuva em Sistemas de Aproveitamento Para Fins Não Potáveis. *Encontro Nacional*, Vol. 4.

- Garcia, B.A.S.R., Mary, W., Silva, L.P. e Alberto, M.A. (2015). Análise do runoff a partir de materiais vegetais residuais fibrosos para uso como substrato agrícola em telhados verdes. *XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 8p.
- Governo do Distrito Federal – GDF. (2009). Plano diretor de drenagem urbana do Distrito Federal. Programa de saneamento básico do Distrito Federal, Secretaria de Estado de Obras. Brasília.
- G1. (2015). *Haddad propõe desconto de até 12% no IPTU de prédios sustentáveis*. Acesso: 20 novembro 2015, disponível em: <<http://g1.globo.com/saopaulo/noticia/2015/10/haddad-propoe-desconto-de-ate-12-no-iptu-de-predios-sustentaveis.html>>
- Heneine, M.C.A.S. (2008). *Cobertura Verde*. Monografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 49p.
- Holtz, F.C. (2011). *Uso de concreto permeável na drenagem urbana: análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.
- IBGE. (2010). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. Acesso: 5 novembro 2015, disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>.
- International Green Roof Association. (2015). *Green Roof Benefits*. Acesso 25 novembro 2015, disponível em <<http://www.igra-world.com/benefits/index.php>>.
- INMET. (2016). Gráficos Climáticos. Acesso: 20 junho 2016, disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>>
- IPEA. (2012). *Textos para Discussão CEPAL-IPEA*. Escritório no Brasil. 50p.
- James, N. e Metternicht, G. (2013). *How to grow a green roof industry*. CitiesAlive, 11th Annual Green Roof and Wall Conference. São Francisco, EUA. 14p.
- Jobim, A.L. (2013). *Diferentes tipos de telhados verdes no controle quantitativo da água pluvial*. Dissertação de Mestrado. Santa Maria, RS.
- Köhler, M., Schmidt, M., Grimme, F.H., Laar, M., Paiva, V.L.A., e Tavares, S. (2002) Green roofs in Temperate climates and in the hot-humid tropics - far beyond the aesthetics. *Environmental Management and Health*. **13** (4), 382-391.
- Köhler, M. (2006). Long-Term Vegetation Research on Two Extensive Green Roofs in Berlin. *Urban Habitats*. **4**(1), 3-26.
- Kosareo, L. e Ries, R. (2007). Comparative environmental life cycle assessment of green roofs. *Building and Environment*, **42** (7), 2606-2613.
- Kruskal, W.H. e Wallis, W.A. (1952). Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. *Journal of the American Statistical Association*, **47** (260), 583-621.

- Liptan, T. e Strecker, E. (2003). EcoRoofs (Greenroofs) – A More Sustainable Infrastructure. *National Conference On Urban Storm Water: Enhancing Programs At The Local Level*, U.S. Environmental Protection Agency, 198-214.
- Living Roofs World. (2015). International Green Roofs policies. Acesso: 19 novembro 2015, disponível em: <<http://livingroofsworld.com/page22.php>>.
- Loiola, C. M., Silva, L. P., Mary, W. e Ohnuma A. A. (2015). Caracterização do runoff em telhados verdes modulares sob chuva simulada induzida. *XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 6p.
- My Plant Connection. (2015). Green Roof Legislation, Policies and Tax Incentives - Green Walls & Green Roofs - Plant Connection. Acesso: 25 novembro 2015, Disponível em: <<http://myplantconnection.com/green-roofs-legislation.php>>.
- Ohnuma Júnior, A. A., Silva, L. P. e Gomes, M. M. (2015). O efeito das condições climáticas em telhados verdes. *XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 6p.
- Onset Computer Corporation. (2001). Data Logging Rain Gauge Manual - Part # RG2 and RG2-M. Acesso: 10 fevereiro 2016, disponível em: <http://www.onsetcomp.com/files/manual_pdfs/5470_B_MAN_RG2.pdf>
- Paranhos, R. (1996). Alguns métodos para análise da água. UFRJ (Ed.) Sub-Reitoria de Ensino de Graduação e Corpo Discente/SR-1 (Cadernos didáticos UFRJ). Rio de Janeiro, 200p.
- Prefeitura de Recife. (2015). *Lei Nº 18.112/2015*. Dispõe sobre a melhoria da qualidade ambiental das edificações por meio da obrigatoriedade de instalação do "telhado verde", e construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem e dá outras providências.
- Rahman, S., Ahmad, H., Mohammad, S. e Rosley, M. (2015). Perception of Green Roof as a Tool for Urban Regeneration in a Commercial Environment: The Secret Garden, Malaysia. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 170, 128-136.
- Raij, B.V. (1991). Fertilidade do solo e adubação. Associação Brasileira pra Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Editora Agronômica Ceres. São Paulo, SP, 343p.
- Rodier, J. (1981). *Análisis de las aguas – aguas naturales, aguas residuales, aguas de mar*. OMEGA (Ed), Barcelona, 1057p.
- Santos, P., Santos, S., Montenegro, S., Coutinho, A., Moura, G., & Antonino, A. (2013). Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial. *Ambiente Construído*, **13**(1), 161-174.
- Schramm, W. (1997). *Notes on Case Study of instructional media projects*. Working paper, the Academy for Educational Development, Washington, DC.

- Siegel, S. e Castellan, N. (1988). *Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences*, second edition, New York: McGraw-Hill, 399p.
- Silva, H.A. (2014). *Avaliação da influência do substrato utilizado na qualidade e quantidade das parcelas de água escoada, percolada e armazenada em três estruturas experimentais de telhado verde extensivo*. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, SP, 68p.
- Silva, J.P. (2007). *Estudos preliminares para implantação de trincheiras de infiltração*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 155p.
- Silva, O. (1985). Manual prático e técnico de agricultura. 3 ed. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, São Paulo, 524p.
- Silva, T.F., Paiva, A. L. R. e Santos, S. M. (2015). Capacidade de retenção de água em um telhado verde: estudo de caso em Caruaru. *XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 8p.
- Silveira, A.L.L. (2012). *Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica*. In: TUCCI, C.E.M. Hidrologia: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, Cap. 2. 943p.
- State Government of Victoria. (2014). *Growing green guide: a guide to green roofs and walls and facades in Melbourne and Victoria Australia*. Department of Environment and Primary Industries, Melbourne, Victoria. Disponível em: <<http://www.growinggreenguide.org/>>.
- Tassi, R. et al. (2013). Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. *Ambiente Construído*, **14** (1), 139-154.
- Tassinari, L.C. da S., Basso, R.E., Perius, C. F., Silva, D. T. da, Persch, C. G., Tassi, R., Allasia, D. (2013) . Influência da pluviometria sobre a persistência das espécies *Gazania Rigens* e *Kalanchoe Blossfeldiana* como cobertura vegetal de um telhado verde. *XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. 8p.
- Thompson, J.W.e Sorvig, K. (2008). A Guide to Green Building Outdoors. *Sustainable Landscape Construction*. Island Press, Washington, DC.
- Toronto. (2015). Green Roofs, Environment , City Planning : City of Toronto. Acesso: 30 novembro 2015, Disponível em: <<http://www1.toronto.ca/wps/portal/contentonly?vgnextoid=3a7a036318061410VgnVCM10000071d60f89RCRD>>.
- Tucci, C.E.M. (2005). *Gestão de Inundações Urbanas*. Ministérios das Cidades: Global Water Partnership, World Bank, Unesco, 269p.
- Tucci, C.E.M. (2007). Inundações urbanas, ABRH/RHAMA, Porto Alegre, Vol. 11, 393p.
- Tucci, C.E.M. (2012). *Gestão da drenagem urbana*. Brasília, DF

- Tucci, C.E.M. (2012). *Hidrologia: ciência e aplicação*. 4 ed. Editora da UFRGS/ABRH. ABRH – EDUSP, Porto Alegre, 943p.
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemela, J. E James, P.(2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning*, **81**(3), 167-178.
- Uhul, M. e Schiedt, L. (2008). Green Roof Storm Water Retention – Monitoring Results. 11th *International Conference on Urban Drainage*, Edinburgh, Scotland, UK.
- UN. (2015). *World Urbanization Prospects, The 2014 Revision*. United Nations. New York, EUA.
- UnB Agência. (2015). Flickr UnB Agência. Acesso: 30 novembro 2015, disponível em: <https://www.flickr.com/photos/unb_agencia/with/14190123711/>
- Van Renterghem, T. e Botteldooren, D. (2011). In-situ measurements of sound propagating over extensive green roofs. *Building And Environment*, **46**(3), 729-738.
- Van Woert N.D., Rowe D.B., Andresen J.A., Rugh C.L., Fernandez R.T. e Xiao, L. (2005). Green roof stormwater retention: effects of roof surface, slope and media depth, *Journal of Environmental Quality*.
- Wilkinson, S., Lamond, J., Proverbs, D., Sharman, L., Heller, A., e Manion, J. (2014). Technical considerations in green roof retrofit for stormwater attenuation in the Central Business District. *Structural Survey*, **33**(1), 36-51.
- Wilkinson, S., e Feitosa, R. (2015). Retrofitting Housing with Lightweight Green Roof Technology in Sydney, Australia, and Rio de Janeiro, Brasil. *Sustainability*, **7**(1), 1081-1098.
- Whittinghill, L.J. (2012). *Vegetable Production Using Green Roof Technology and the Potential Impacts on the Benefits Provided by Conventional Green Roofs*. Dissertação de Doutorado, Michigan State University, East Lansing, MI, EUA..
- Yin, R. (2001). *Estudo de caso*. Planejamento e Métodos. 2 Edição. Porto Alegre: Bookman.